

BOLETÍN  
DEL  
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

**BOLETÍN**  
DEL  
**INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO**  
DE  
**ESPAÑA**

**TOMO LXIII**

---

MADRID  
TIP.-LIT. COULLART  
MANTUANO, 49  
1951

*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.



ILMO. SR. D. MIGUEL MOYA Y GASTÓN DE IRIARTE  
VICESECRETARIO DEL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA





ILMO. SR. D. MIGUEL MOYA Y GASTÓN DE IRIARTE  
VICESECRETARIO DEL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

## NECROLOGÍA

### DON MIGUEL MOYA Y GASTÓN DE IRIARTE

El 17 de diciembre de 1950 falleció el Vicesecretario del Instituto Geológico y Minero de España, y Vocal del mismo, D. Miguel Moya, y en ese momento perdíamos también, los que con él convivíamos, al buen compañero y amigo.

Una de las cualidades más sobresalientes de su carácter fué, sin duda, su personalidad, con la cual siempre destacó en las múltiples actividades a que dedicó su vida.

Hijo del que fué grande y famoso periodista, D. Miguel Moya, de él heredó cualidades y vocación para el periodismo y la política, pero nunca perdió del todo el contacto con su profesión. Así, al seguir el curso de su vida, se destacan alternativamente las tres facetas más acusadas de su personalidad: el periodista, el político y el ingeniero de minas.

Su primera tarea fundamental consistió en el estudio de su carrera de ingeniero, pero ya durante ésta se fraguaban

en él sus otras aficiones, a cuyo cultivo le incitaban sus cualidades innatas de talento; orador brillante, ingenio extraordinario y un sentido muy delicado de humor, conjuntamente con el ambiente en el que transcurría su primera juventud, el de la complicada política de los albores de nuestro siglo, ambiente familiar donde conoció a los actores más destacados de esa vida política.

Poco tiempo después del término de su carrera, en el año 1915, fué elegido diputado, y durante nueve años actuó sin interrupción en el Congreso. Por su cualidad de ingeniero sus intervenciones más destacadas tuvieron lugar en asuntos de orden técnico.

En el año 1917 fué nombrado Director del periódico «El Liberal», dirección que desempeñó durante cinco años.

Su curiosidad le atrajo al campo de la radioelectricidad, y tuvo una de las primeras emisoras de aficionados que se montaron en España. Consiguió comunicaciones que en aquella época fueron muy famosas por su rareza, y entre otros países comunicó con Australia. Sus éxitos en el cultivo de esta disciplina tuvieron eco en la Escuela Especial de Ingenieros de Minas, que le nombró Ingeniero Agregado a los Laboratorios de Radioelectricidad, donde más tarde montara una de las primeras emisoras que funcionaron en España en un centro oficial civil.

En este mismo período de su vida, en el que su ciclo de actividades se inclina con preferencia por el cultivo de la ingeniería, ingresa por primera vez en el Instituto Geológico el 22 de febrero de 1923, y es adscrito a un equipo de investigaciones mineras. Este primer contacto con nues-

tro Instituto no dura más que siete meses, pero reingresa el año 1930, en que es nombrado Vicesecretario del mismo.

En el año 1926 funda la revista de radio «EAR», que dirige durante dos años. Asiste a diversos congresos de radio en el extranjero, donde dió algunas conferencias y es nombrado Presidente de Honor de asociaciones de radio de diversos países.

Alejado durante mucho tiempo de la política no podía seguir siendo infiel a esta gran vocación. El 21 de diciembre de 1933 es nombrado Director general de Minas, desde cuya Dirección se ocupa activamente de algunos problemas del Instituto Geológico. Cesa en el año 1934, y poco tiempo después estalla nuestra Guerra de Liberación, que le obliga a un paréntesis en su actividad, pues al ser perseguido por los elementos marxistas tiene que refugiarse en la Embajada de Francia, en Madrid.

Restablecidos la normalidad y el orden pasa a ocupar su puesto del Instituto Geológico, que ya no abandonará hasta el momento de su muerte.

En los períodos en que su vida pública se lo permitía dedicó su atención a negocios mineros y metalúrgicos. Asesoró empresas y montó explotaciones mineras de wolfram, mica, magnetitas, etcétera.

En «Notas y Comunicaciones» publicó algunos trabajos, de tratamiento de minas auríferas, acerca de la radiactividad de minerales españoles, etcétera.

Los últimos años de su vida los dedicó, preferentemente, al estudio de minerales radiactivos, y por ello fué nom-

brado Secretario de la Comisión del Uranio del Instituto Geológico, y como miembro de ella pronunció una interesante conferencia en el Instituto de Ingenieros Civiles.

Su actuación en el extranjero, con motivo de su asistencia a congresos y conferencias, motivó el que diversos gobiernos le hicieran objeto de condecoraciones, y poseía, entre otras, la de la Legión de Honor francesa y la de la Orden de Cristo, de Portugal.

Una enfermedad dolorosa y cruel puso término a su vida y el 17 de diciembre del año 1950 descansó en el Señor.

MANUEL ABBAD

## PRÓLOGO

Comienza este *BOLLETÍN* con el extenso e interesantísimo trabajo del Vocal de este Instituto, don José Romero Ortiz, titulado «La erupción del Nambroque en la isla de La Palma» (Canarias); tema que si, por reciente, no ha perdido actualidad, nunca perderá interés, por su sólida doctrina y acertado desarrollo.

Comienza Romero Ortiz, exponiendo el bosquejo geológico de la isla de la Palma, con justa, ponderada y respetuosa crítica de los que antes se ocuparon en componer aquel bosquejo y estudiar el vulcanismo de aquel territorio.

Luego, como paso previo que juzga oportuno para el lector, expone una tesis acerca de vulcanología, tan meritoria por breve como por precisa. A esto sigue la historia del vulcanismo, no sólo en La Palma, sino en todo el archipiélago canario y, por fin, como nota más original y práctica, el que llama «Diario del volcán», en el que, como lo dice el título, sigue, día por día, los fenómenos observados en el Nambroque, desde el 24 de junio de 1949, fecha de la iniciación de las recientes erupciones. Ningún

método mejor, porque permite seguir el proceso eruptivo al lector corriente, y expone el problema a la consideración de cuantos especialistas quieran estudiarlo basados en seguros elementos de juicio.

Complemento que no podía faltar, y que no falta en tan acabado estudio, es la descripción de las diversas bocas y grietas ignívolas allí abiertas en esta ocasión y sus diversas formas de actividad y calidad de los productos emitidos, hasta llegar a los fenómenos epigónicos, a fines del año 1949.

El magnífico estudio de Romero, termina, como empieza, con una exposición doctrinal de Vulcanología y de sus relaciones con la Sismología y con la Geotectónica del país; estas observaciones y los análisis de las lavas, hechos en el laboratorio de Petrología del Instituto, permiten a Romero clasificar el criterio como análogo, pero no igual al Estrómboli.

Completan el estudio el mapa geológico de la zona afectada y varios parciales, y lo adornan fotografías de la erupción, algunas de las cuales indican verdadero altruismo científico, que pudiéramos llamar pliniano, y, particularmente, revelan el valor del Ayudante de Minas del Distrito de Gran Canaria, don Emilio Fernández.

Además de este funcionario de nuestro Ramo, ayudaron a Romero Ortiz, don Dionisio Recondo, Ingeniero Jefe del Distrito Minero de Santa Cruz de Tenerife, don Wesceslao Castillo, también Ingeniero de Minas y sabio sismólogo, y don Modesto Vidarte, Ayudante de Minas del Distrito de Santa Cruz.

A otro de nuestros ingenieros vocales, don Antonio Almela, debemos una «Delimitación del carbonífero de la zona La Robla-Vegarienza (León)»; análisis sistemático que comprende la estratigrafía, la geotectónica y la tectogénesis del territorio examinado.

Con sus bien fundadas observaciones pone de manifiesto Almela que la superficie en que aflora el carbonífero es mucho menor que la que figura en los actuales mapas, que la cuenca de La Magdalena pierde anchura hacia Poniente y hacia Levante, según la cubren las formaciones miocenas, y deduce Almela que, si bien puede esperarse que continúe la cuenca carbonífera bajo el pleistoceno y el mioceno a profundidad máxima de 300 m., esta ampliación podría tener sólo interés local, pero no es bastante para que el Estado la investigue.

Lo mismo dice de las cuencas de La Urz, de Callejo, de Ordás y de Espina de Tremor, muy reducidas y trastornadas.

El mapa geológico y los cortes correspondientes, en escala 1 : 50.000, muestran el esmerado detalle con que el trabajo está hecho.

Contiene, también, el presente volumen, un escrito de don Guillermo Colom, titulado «Micropaleontología aplicada», hecho con motivo del estudio de profundo sondeo, que, para la investigación de hidrocarburos, perforó en Oliana (Lérida), la Compañía de Investigación y Explotaciones Petrolíferas, S. A.

Este estudio, cuidadoso y detallado, se refiere a las especies de foraminíferos encontrados a los diversos niveles



que cortó el sondeo y en otros superiores no reconocidos por la sonda. Por ello presenta grande interés, no sólo para el objeto inmediato que lo motivó, sino para el conocimiento de los niveles del eoceno en España desde el punto de vista de su determinación micropaleontológica, y es, por lo tanto, también, muy útil para la determinación específica de los ejemplares que en lo sucesivo puedan encontrarse en otros yacimientos de margas eocenas.

Al texto acompañan siete figuras intercaladas en el mismo y siete láminas, en las que se reproducen con gran cuidado y fidelidad, por medio de fotografías y de dibujos, las especies encontradas. Lo complementan varios cuadros, en los que se representa la sucesión de esas especies y su abundancia en los distintos testigos muestras del sondeo.

A don Juan Manuel López de Azcona, ingeniero del Instituto, se debe el extenso trabajo titulado «Radiactividad y Geofísica», con grande oportunidad, ya que, como es sabido, entre las ramas de la Ciencia que más han progresado en estos últimos años figura la nucleónica, y, dentro de ella, sus aplicaciones a nuestro Planeta, y este constante progreso motiva que haya perdido actualidad el interesante libro publicado en 1931, con el título «The Age of the Earth», por lo que era necesario poner esta magnífica obra al día y aun ampliarla con otras aplicaciones de la radiactividad al estudio de la Tierra. Este es el objeto que consigue López de Azcona, quien, además de ampliar las noticias referentes de las técnicas aludidas, aporta nuevos

datos, que deben ser destacados y mencionados por el orden en que el autor los presenta.

Se refiere primero a formación de los elementos radiactivos y radiogénicos a partir de la materia inicial, por sucesivas evoluciones nucleares. Expone después los métodos de cálculos de edades sucesivas de la Tierra mediante las evoluciones de las series radiactivas largas, y dice que en esto se presentan varias causas de error, que motivan que no siempre concuerden las cifras de años, a las que denomina «edades aparentes», razona cómo debe localizarse el error e indica las correcciones precisas para fijar las edades reales.

Dice también el autor que en el estudio de la génesis de los minerales con elementos radiogénicos, es necesario el de su composición isotópica, y sienta el criterio que a su juicio se ha de seguir en la elección de las muestras de plomos comunes y de los radiogénicos, y da una norma para deducir la edad del plomo común conociendo la composición isotópica.

Otro atrayente problema que consta en el estudio que reseñamos es la fijación de la edad de los núcleos de los elementos radiactivos, cuyo máximo podía fijarse hace años por medio de los tales elementos de período largo, pero luego se ha obtenido una serie de elementos artificiales con período bien conocido que pudieran haber motivado que fuesen radiogénicos algunos de los elementos admitidos como originales. Con este motivo el autor revisa todos estos elementos y llega a la conclusión de que no se opone esa posibilidad a las edades asignadas antes a

los núcleos y, como consecuencia, presenta series de imposibilidades geofísicas frente a las posibilidades de transformación, las cuales considera detenidamente.

Todos estos problemas tienen íntimo enlace y permiten determinar las reservas planetarias de elementos radiactivos y sus variaciones con el tiempo, y deducir algunas relaciones, como la de plomo-uranio, que antes fué dada por otros investigadores sin tener en cuenta las fórmulas de evolución, y que ahora se fijan matemáticamente.

Asimismo, afirma López de Azcona que el calor de origen radiactivo es el fundamento del balance energético terrestre que tiene influencia fundamental en el gradiente geotérmico (como se observa en los estudios efectuados en la cuenca potásica catalana), y llega a la conclusión de que la corteza terrestre no sería hoy habitable, a causa del enfriamiento por irradiación, si no hubiese existido, como contrapartida, la radiactividad.

Muy atrayente es para el geólogo la determinación en años de una formación, así como lo es para la Uranofísica conocer el calor anual generado por la materia que hoy forma nuestro Globo y debido a la evolución de los elementos de series extinguidas, al pasar de los núclidos a los átomos. La determinación de edades, tema desarrollado por muchos investigadores, se ha perfeccionado en forma que ahora, según el autor, es posible valorar las prehistóricas con errores menores de 50 años.

En suma, en este extenso trabajo se ve gran esfuerzo teórico, que no ha podido completarse con resultados experimentales, por no poseer el Instituto todavía espectró-

grafo de masas adecuado, lo que ha obligado a operar casi siempre con valoraciones de composiciones isotópicas deducidas por otros autores.

Por fin, consta en este volumen un «Análisis estratigráfico y tectónico de una parte del valle del Segre», debido a D. José María Ríos, el cual comprende la estratigrafía de las sierras de Aubens y de Turp y, al norte de ellas, las de Prada y de San Juan, todas en la provincia de Lérida.

Constan en el trabajo referencias a los estudios de Estratigrafía y de Paleontología realizados anteriormente en la misma comarca por Vidal, Dalloni y Astre, a las que se adjunta interesante cuadro comparativo de la serie estratigráfica local, según cada uno de aquellos tres autores, lo que motiva aleccionador paralelo entre las diversas series y, mediante el análisis de las causas de las variaciones de facies y de potencias, se llega a la conclusión de que aquéllas se deben a haberse ido trasladando hacia el Sur un gran eje geosinclinal durante las épocas secundaria y terciaria.

Reconstituye Ríos la historia geológica de la zona, valiéndose de examen muy detallado de cada uno de los elementos geotectónicos allí reconocidos.

Complementan este estudio el mapa geológico correspondiente, cortes parciales y esquemas y fotografías panorámicas.

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

**LA ERUPCIÓN DEL NAMBROQUE  
EN LA ISLA DE LA PALMA**

INFORME PRELIMINAR

POR

D. JOSÉ ROMERO ORTIZ  
INGENIERO DE MINAS

COLABORADORES

D. Dionisio Recondo (Ingeniero de Minas)  
D. Wenceslao Castillo (Ingeniero de Minas)  
D. Modesto Vidarte (Ayudante de Minas)  
D. Emilio Fernández (Ayudante de Minas)

## I. BOSQUEJO GEOLÓGICO

Dedicado todo nuestro tiempo a la observación del volcán, no nos ha sido posible realizar ningún reconocimiento geológico de la isla, sino simplemente una rápida visión de conjunto, dificultada por el corte de las comunicaciones. Sirvame esto de disculpa para la brevedad de este capítulo, en el que comienzo por deplorar que lo que he visto no corresponde a las descripciones geológicas que después he leído, a mi regreso. Obtengo, pues, la convicción de que el estudio geológico, vulcanológico y petrológico de la isla, dista mucho todavía de lo que debiera ser. Dando de lado a la opinión de respetables geógrafos, que consideran al archipiélago canario como una prolongación del Atlas, o como un residuo de un hipotético continente, porque a estos supuestos puede oponerse el hecho de su constitución litológica, totalmente diferente a la del continente africano, y sin penetrar en el interés tectónico que pueda ofrecer la gran depresión submarina, de dirección NE.-SO., que prolonga el valle del Guadalquivir frente al Estrecho de Gibraltar, a la cual Pereira de Souza consideraba como un centro sísmico importante, de cuya opinión razonable se hacía eco Fernández Navarro, creo que baste para demostrar la individualización del archipié-

lago, la consideración, avalada por sus rocas, de que ha sido formado a expensas del sima submarino del Atlántico, mientras que en el continente próximo es el sial el dominante. Si queremos hallar relaciones de interdependencia de las Islas Canarias con otras tierras, hemos de investigarlas, más que en consideraciones geográficas, en razones litológicas de analogía y semejanza. Y, en este sentido, bien clara se halla la cadena volcánica que constituyen Islandia, las Azores, Cabo Verde y las más pequeñas islas situadas al Sur, todas ellas enclavadas en el Océano Atlántico, con evidente formación de rocas vulcánicas y con predominio de tipos basálticos. Por otra parte, si la isla de La Palma y, en general, el Archipiélago Canario, fuese un pequeño resto de algún continente, encontraríamos en él rocas continentales, es decir, rocas granudo-cristalinas, plutónicas, consolidadas a gran profundidad, que es cuando únicamente puede nacer dicha textura, y es lo cierto que en mis rápidas excursiones no he hallado más que rocas superficiales o vulcánicas, aparte de algunas formaciones que parecen sedimentarias. ¿Existen, realmente, rocas granudas? Casi me atrevo a asegurar la negativa, y que todo ello proviene de una errónea interpretación.

Un eminente geólogo que dedicó bastante tiempo al estudio geológico de las islas, tal vez influído por lecturas ajenas, nos dice: «El conjunto de rocas eruptivas se apoya, sin duda, en un zócalo hipogénico holocristalino, cuyas rocas han sido denudadas por la erosión en Fuerteventura y en La Palma. En alguna otra isla se le observa bajo la forma de apófisis inyectadas entre los materiales volcánicos más viejos, disecados por la grieta de algún profundo barranco. Por todo el archipiélago son abundantes bajo la forma de enclaves, más o menos alterados, pero perfectamente determinables en la mayoría de los casos. Entre las rocas

holocristalinas reconocidas bajo estas diferentes formas abundan, sobre todo, diabasas, sienitas alcalinas y sanidinitas, sin que falten los tipos gabbroides, las hiperstenitas y aun los granitos». El propio autor reconoce que «la serie de las rocas eruptivas canarias es, como ya hemos dicho, muy imperfectamente conocida», pero el párrafo que antecede merece alguna discusión. De sus conceptos depende el conocimiento actual del *substratum* de las islas. Decir que existe un «zócalo holocristalino» no compromete a nada, petrológicamente, pues no se expresa más que son rocas totalmente cristalinas, o sea que no contienen vidrio. Lo son las plutónicas y pueden serlo las vulcánicas, cuando se consolidan a profundidad, o cuando la temperatura desciende muy lentamente, por cualquier causa. Pero en dicho párrafo se hallan mezclados nombres de rocas de ambos tipos. Con relación a La Palma, dicho autor manifiesta que en el zócalo existente en la Caldera de Taburiente se reconocen diabasas, essexitas, monzonitas, sienitas eleolíticas, etc., y que como enclaves «se encuentran otras rocas granudo-cristalinas como gabbros, hiperstenitas y sanidinitas, no sólo en las inmediaciones de la Caldera, sino hasta en los basaltos de época histórica (volcanes de San Martín, de San Antonio)», y continúa: «Sobre estos cimientos *plutónicos* se apoya la rica serie...». La confusión petrológica es ahora tan clara como evidente. Se mezclan nombres de rocas que en la Naturaleza se presentan en diques, como las diabasas, con las que forman macizos, lo que es inadmisibile desde el punto de vista del yacimiento en La Palma, que es meramente vulcánico; y se considera como «cimiento plutónico», es decir, como cimiento de textura granudo-cristalina, a la sanidinita, cuando en petrología se la clasifica como roca vulcánica. Por último, se citan como enclaves en lavas modernas,

básicas, basálticas, otras rocas granudo-cristalinas como el gabbro, lo que constituye una verdadera anomalía, puesto que aunque basalto y gabbro procedieran del mismo magma, lo que es posible, ya que el primero no es, petrologicamente, más que el equivalente vulcánico del segundo, es materialmente imposible que cristalice con textura granuda dentro de una colada de época histórica, porque todas se han enfriado rápidamente. Únicamente podría existir la gran rareza de un enclave de gabbro, roca de macizo, en una lava vulcánica antigua, por arranque y arrastre como roca de la caja en profundidad, pero entonces no constituiría un verdadero enclave, en el sentido geológico de la palabra, por su exigua pequeñez.

Aparte de otras razones, que por brevedad omitimos, es sumamente vulnerable la descripción petrológica que antecede. Aun sin terminar los trabajos de laboratorio de las muestras que a mi paso por diversos parajes he recogido, más con el deseo de poderme orientar que con el de hacer un estudio metódico, creo que puede aclararse el fundamento de tal confusión petrológica. En mi rápida visita a la Caldera de Taburiente he encontrado algunas rocas que tienen una textura glomeroporfirica, esto es, que los elementos blancos microscópicos se agrupan y los negros se reúnen también por separado, formando así gránulos blancos y gránulos negros, con lo cual, a simple vista, la roca parece granuda, se asemeja a un granito o sienita, pero, en rigor, es microcristalina y vulcánica. Un estudio con preparaciones microscópicas hubiera eliminado tan dispares clasificaciones.

Como quiera que esta literatura es la que tiene más ascendencia en Canarias conviene también desterrar ese concepto de «apoyo», que se repite muchas veces en las publicaciones geológicas del archipiélago y que no debe

usarse más que en estratigrafía. En vulcanología, sobre un zócalo se eleva otro volcán que le atraviesa, formando así un volcán compuesto. Nadie dice que el Vesubio se apoya en el Somma, sino que un volcán tiene su «somma», o que posee otra chimenea adosada.

Bastan las líneas anteriores para demostrar que resta mucho por estudiar en la petrología de La Palma, y del archipiélago en general, como base para su vulcanología y, en fin de cuentas, para su geología.

Desde que Buch, inspirándose en la Caldera de Taburiente, emitió su idea acerca de los cráteres de levantamiento, ha venido predominando esta teoría para la explicación genética de aquel anfiteatro, idea que también merece ser revisada. En mi opinión, es un cráter de explosión, y no ciertamente el mayor conocido, sino el más gigantesco del mundo actual y superior a todos en belleza. Es mayor, desde luego, que el Krakatoa, de diez kilómetros de largo por cinco de ancho, masa que fué volada casi totalmente en 1883, pero menor que otros varios desaparecidos; entre ellos el Santorin, viejo volcán cuya base elíptica, de 25 Km. de largo por 20 de ancho, formaba un enorme cráter de explosión que se halla hoy ocupado por el mar y por tres pequeñas islas, como restos del cono, sobre las olas. Después de cuanto conocemos acerca del Mont Pelée, de la Martinica, merced al notabilísimo estudio de Lacroix, tenemos bastantes elementos de juicio para saber que todas estas explosiones dependen de la naturaleza de la lava, y en la Caldera de Taburiente he encontrado rocas muy ácidas, cuyos caracteres macrográficos revelan su procedencia de lavas, que por su viscosidad, y por la dificultad que ofrece el desprendimiento gaseoso, han podido acometer la titánica empresa de tal voladura merced a las gigantescas fuerzas que ponía en juego la

Naturaleza y que ahora podemos leer en la topología palmera. Sin embargo, para que esta hipótesis, meramente petrológica, merezca crédito, ha de ser comprobada por alguna estructura geológica, que al fin y al cabo es la traducción directa o, mejor aun, el testigo fidedigno de los acontecimientos tectónicos del pasado. Y tal testimonio le hallamos, reparando en que las corridas de lava poco inclinadas, visibles en el barranco de las Angustias, labrado por la erosión, terminan cortadas bruscamente en la costa, sin inclinación de derrame hacia el mar, como los conglomerados que tiene adheridos a las laderas (pertenecientes al mioceno medio, según Fernández Navarro, y en cuyo estudio deberíamos fijar la atención, así como en las transgresiones y regresiones marinas), todo lo cual demuestra, a mi juicio, que la primitiva Caldera, mucho mayor que la actual en su dirección hacia el mar, fué primeramente erosionada hasta una cierta profundidad, estableciéndose entonces en ella un régimen lagunar, del que son testigos las formaciones sedimentarias que en ellas existen, atribuidas al mioceno medio, según queda dicho; formaciones que no llegan hasta el fondo de la Caldera, sino que aparecen tapizando las laderas del barranco a cierta altura. Entonces debió acontecer la explosión del cráter, cortando la Caldera tal vez por la mitad, que fué volada hacia el mar. La erosión se ha encargado de suavizar los efectos del fenómeno. Un portillo de la Cumbrecita es la mejor prueba de que ha existido un régimen fluvial, pues su perfil revela que es un valle de erosión y no de hundimiento.

Al ciclópeico cono de la Caldera debieron nacerle numerosos cráteres y conos adventicios, que ahora se hallan parcialmente desmantelados en la Cumbre Nueva, la Cumbre Vieja, El Bidigoyo, El Nambroque, y en tantos otros parajes que forman las grandes alturas del sistema orográ-

fico, que adosado a la Caldera en su origen, y alineado groseramente de N. a S., constituye la espina dorsal de la isla.

La parte meridional de la misma, de menores altitudes, y las zonas relativamente llanas, parecen hallarse formadas por brechas y tobas vulcánicas, con intercalaciones de bancos de lava, como materiales procedentes de vulcanismo antiguo, cuya formación ha sido atravesada por diversas chimeneas vulcánicas, para establecer nuevos conos sobre ellas, en una compleja red, hasta que finalmente, ha nacido, en estas zonas, el vulcanismo moderno. Hay que tener presente que el de ahora ha constituido una excepción, porque las erupciones históricas se han localizado, generalmente, en zonas de una altitud máxima de unos 1.000 metros, mientras que los fenómenos vulcánicos que originan esta memoria se han establecido en alturas de 1.800 metros, y dentro de las cumbres montañosas que sirven de divisoria Norte-Sur de la isla.

El vulcanismo contemporáneo no es más que una débil réplica del acaecido, probablemente, desde el final del período terciario, remedando, más que reproduciendo, la estructura conseguida en épocas pasadas. El gran número de diques verticales, o poco tendidos, demuestra que el vulcanismo antiguo se caracterizó por una gran actividad orogénica, poco anterior, y a veces simultánea, al período de la erupción; períodos que, en general, han sido relativamente cortos, pero bastante numerosos. Por ello, en la arquitectura geológica del vulcanismo antiguo, se encuentran alternancias de brechas y tobas vulcánicas con capas de lava, en las que aparecen las rocas vulcánicas quebrantadas y con disyunción angulosa, dando, en conjunto, una estructura sedimentaria, con inclinaciones suaves, salvo en aquellos casos en los que la extrusión recorría terrenos de gran pendiente.

Con frecuencia, se observa una estructura arborescente, constituida por una chimenea, con las antedichas coladas alternantes, que como ramas se desprenden del tronco. Pero llama la atención que las tobas y brechas, así como las capas de lava antigua, se hallan cortadas, a la vez, por bastantes diques lávicos verticales, síntoma revelador de que existieron movimientos productores de fracturas, más o menos verticales y potentes, que la propia lava rellenó, cicatrizando, así, toda la formación. Resulta una estructura análoga a la del *trapp* de los geólogos del siglo pasado.

Puesto que algunos autores hablan de la existencia de fonolitas, tal vez existan cúpulas compactas que no he tenido ocasión de observar, aunque su forma singular obliga a que se fije en ellas la atención. En cambio, dentro de las erupciones basálticas antiguas, existe en el embarcadero de Fuencaliente, por ejemplo, una gran colada de unos 10 metros de potencia, visible con una prolongación submarina, en la que aparece la disyunción prismática (órganos, calzadas de gigantes, etc.), perfectamente marcada, con apariencia de embaldosado exagonal en un pequeño recinto aplanado por la erosión marina. Este basalto se halla cubierto, como de ordinario, por otra capa de toba y brecha volcánica, sobre la que se ha volcado un manto de lapilli hacia el Norte, procedente de la zona más alta. Estas coladas potentes, y la actividad sísmica que les acompañó, son los rasgos más salientes del vulcanismo antiguo en la isla, que, como decimos, han sido débilmente reproducidos en la erupción actual.

## II. ORIGEN DEL VULCANISMO

Hemos de tratar el tema de la génesis del volcán, y parece necesario ocuparnos, brevemente y con anterioridad, del punto de vista que adoptamos. Quédese para la historia de la Vulcanología la exposición del desarrollo del pensamiento humano, creador del cuerpo de doctrina de tal ciencia, pero no estará de más recordar que para explicar la formación de la lava, es preciso comenzar razonando sobre la formación de la Tierra. Ambos procesos son eslabones de una misma cadena, que tiene por asidero ese misterio en que nos debatimos, para dar paz al espíritu, con el conocimiento de si la Tierra ha estado o no previamente fundida. En el primer caso, el magma puede ser residual, puede formar bolsadas en el interior de nuestro planeta; en el segundo, planteado por las teorías meteoríticas, es preciso buscar otra explicación. La sismología es el único medio de que actualmente se dispone para auscultar el interior de la Tierra, y merced a ella conocemos su estructura, que, en líneas generales, resulta formada por un núcleo líquido o fundido de unos 3.470 Km. de radio y una envolvente o corona esférica de unos 2.900 kilómetros de profundidad, sólida y con una rigidez mayor que la del acero. Merced a estos conocimientos, los geó-



logos encariñados con antiguas teorías van rindiéndose ante dichas investigaciones, por lo cual se admite, casi universalmente, que un magma puede producirse por una variación del estado físico de la envoltura esférica en el punto considerado, variación que puede consistir en un aumento de la temperatura o en una disminución de la presión, y como la primera es difícil de explicar, por carencia de fuentes de energía térmica, se admite que el magma se genera por una descompresión, fenómeno más cercano a nuestras concepciones, porque un esfuerzo dinámico, una falla, por ejemplo, puede afectar a las regiones profundas de 40 a 50 kilómetros, que suele ser la máxima donde los magmas eruptivos se producen. Allí, como es sabido, se admite, actualmente, una zona de compensación donde las rocas fluyen plásticamente.

Tales son las ideas más generalizadas, a las que gustosamente me atengo en este informe oficial, pero siendo el que estas líneas escribe autor de una teoría geogénica (\*), séame permitido expresar que no hay en ella nada que se oponga a las antedichas especulaciones, sino que las confirma y aclara. La hipótesis fundamental de dicha teoría es que la Tierra —tal vez nuestro sistema planetario y aun otros astros lanzados con la velocidad de fuga— ha nacido de una explosión del Sol, lo que no debe repugnar a ningún astrónomo, y después de demostrar la posibilidad de tal fenómeno, aplicando, como Eddington para el Sol, la teoría cinética de los gases, introduzco el análisis matemático con las imprescindibles hipótesis secundarias. He obtenido así como cálculo final, el radio del núcleo de 3.470 Km., de acuerdo con lo que nos dice la sismología,

(\*) «La Tierra por dentro». Memoria editada por la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

por lo que considero aquéllas debidamente comprobadas. Entre los valores numéricos hallados figuran, entre otros, la temperatura en el centro (8.000° C.), la densidad en el centro (10 gr./cm.<sup>3</sup>), la presión de radiación en el centro (10,38 dinas/cm.<sup>2</sup>), la presión en el centro (1.760.000 atmósferas), etc., etc. En total 14 valores numéricos, sin extrapolación de ningún género, que responden a cuanto nos enseña la sismología.

El núcleo resulta ser un gas atómico y electrónico, y por su naturaleza no transmite las ondas sísmicas transversales. Es como un pequeño sol comprimido. Todo ello permite, por no ser meteorítica la teoría, atribuir al magma un estado residual. Esto, sin embargo, en el estado actual de nuestros conocimientos, no sería defendible, porque en el interior de la Tierra no hay que tener solamente en cuenta la temperatura, sino también la influencia de la presión. La tragedia del geofísico es que ha de pensar, simultáneamente, en ambos conceptos de presión y temperatura, como el físico de la luz ha de considerar el corpúsculo y la onda. Su ánimo sólo se encuentra satisfecho cuando considera los gases, porque existiendo una relación experimental y analítica entre ambos, establecida por una fórmula matemática, puede expresarse no con palabras, sino matemáticamente. No acertamos, verdaderamente, a comprender lo que no nos imaginamos, pero tampoco es posible la comprensión cuando nos inquietan dos imágenes distintas. Desgraciadamente, no existe ninguna relación legal para los líquidos y sólidos, y según la importancia subjetiva que se conceda a cada uno de los antedichos conceptos, se llega a conclusiones opuestas y a teorías especulativas diferentes. Los partidarios del predominio del calor, nos hablan de un estado de fusión —del magma y del núcleo fundido— y los que opinan que prevalece la presión, llegan a considerar un estado

cristalino y hasta «hipercristalino» de la materia. No olvidemos que calentando el agua y comprimiéndola, podemos obtener hielo a 72° C. de temperatura, con una presión de 20.000 Kg. por centímetro cuadrado. La paradoja del *agua caliente helada* ha sido realizada por el sabio físico Bridgman.

Si consideramos las condiciones de la Tierra veremos, que la presión gravitatoria de 20.000 Kg./cm.<sup>2</sup> se logra a una profundidad de 70 Km., pero la temperatura no es allí de 72° C., sino de 2.340° C. —admitiendo un gradiente térmico de 30 m. en números redondos—, cuyo valor es 32,5 veces mayor que el encontrado para la formación del hielo. El agua, en este caso, por hallarse muy por encima de las condiciones críticas, debe encontrarse al estado de vapor. La temperatura ha predominado sobre la presión.

Lo propio sucede con el CO<sup>2</sup>, pero si consideramos el cuarzo, hallándonos autorizados para decir por experiencia de laboratorio, que las mezclas fundidas rebajan el punto de fusión de sus componentes y, singularmente, cuando en ellas existen gases y vapores, como, por ejemplo, el vapor de agua, ya no nos extrañará que el cuarzo, cuyo punto de fusión es 1.685° C., le encontremos fundido en el cráter de un volcán a 1.100° y a temperaturas inferiores. En el granito, sabemos que no ha pasado de 575° C., porque a mayor temperatura se produciría el cuarzo β, lo que en la corteza terrestre corresponde a una profundidad de 17,25 Km. donde la presión reinante puede admitirse de 4.400 Kg. por cm.<sup>2</sup>. Para la cristalización de la sílice en forma de cuarzo, parece que es necesario el concurso de la presión, pues de los datos que suministra Lacroix acerca de la aguja de la Montaña Pelada, he deducido que el cuarzo ha debido cristalizar, con la intervención del va-

por de agua, a cierta presión, bajo la cubierta sólida de la cúpula, ya que solamente en las andesitas situadas en dicho lugar, es donde se encuentra dicho cuarzo. Ésta es la gran influencia de los agentes mineralizadores y, en particular, del vapor de agua.

La observación geológica también nos sugiere valiosas enseñanzas. Es indudable, que alguna repercusión han de tener en el estado sólido de los materiales de la corteza terrestre, las extraordinarias condiciones de temperatura y de presión en que se ha constituido. Un granito, por ejemplo, que consideramos como prototipo de cristalización a profundidad, no responde con su textura granuda a lo que era de esperar con una piezocristalización, esto es, con una cristalización forzada por la presión gravitatoria. El resultado más lógico sería un neis, con la biotita y todos los cristales de cuarzo y feldespatos aplastados, e incluso, ópticamente isorientados. No sucede, porque como acabamos de ver y en contra de muchas opiniones respetables que defienden lo contrario, en el interior de la Tierra predomina siempre la temperatura sobre la presión (en estado de equilibrio, se entiende) y, por consiguiente, la energía cinética molecular no se siente anulada por la presión externa, y cada átomo ocupará en el cristal el lugar que le corresponde. La tensión de los gases y vapores será la encargada de mantener el equilibrio con dicha presión externa o gravitacional.

Por el contrario, cuando la presión predomina sobre la temperatura, de lo que tenemos notables ejemplos en las arquitecturas logradas por los movimientos orogénicos, una de cuyas consecuencias es el fenómeno de dínamo-metamorfismo, es cuando nace el neis, como traducción directa de tal piezocristalización. Cada átomo ocupa también su lugar en la estructura interna durante la recristali-

zación, pero el cristal no puede crecer en el sentido de la presión, sino perpendicularmente a ella, en forma más o menos tabular.

Cuando vemos al pie de una elevada montaña, el mismo granito que en la cúspide, que fué mucho más alta de lo que ahora contemplamos, porque la ha rebajado la erosión, obtenemos la consecuencia de que la diferencia de presión no ha tenido traducción eficaz en la textura. ¿Qué acción lo ha impedido? Ha tenido que ser, a mi juicio, una acción interna que contrarreste el peso de la roca, el cual tendería a formar un neis en el valle; y aquella acción no puede conferirse a ninguno de los minerales de la roca, por lo que debe atribuirse a un agente que haya podido escapar. Como queda dicho, la tensión del vapor de agua, principalmente, ha debido ser la encargada de mantener el equilibrio estático, tensión confinada y sostenida durante mucho tiempo, porque, de lo contrario, se obtendría una textura porfírica y hasta una obsidiana liparítica, si el tiempo de consolidación fuese breve. Obsérvese que en la formación de este último vidrio, concurren opuestas condiciones a las del granito: enfriamiento rápido y presión pequeña, no obstante lo cual retiene hasta un 10 y 12 % de agua, como un hidrogel desecado. Este es el mejor testimonio que se puede ofrecer de la interpenetración del agua en el seno íntimo de la materia. Es retenida por el fenómeno físico de la adsorción, aunque también puede hallarse ocluída y hasta en combinación química, como sucede en algunos minerales hidratados que las rocas ígneas contienen.

El estado de plasticidad, tan necesario para explicar diversos fenómenos que acontecen en el interior de la Tierra, singularmente el de la presión hidrostática, la compensación, etc., no necesita en la teoría que a grandes

rasgos vengo desarrollando, ninguna explicación ni justificación. La plasticidad es inmanente en la materia, tal como la considero. Si deseamos hallar alguna imagen, podemos pensar en un hidrogel desecado, en una especie de vidrio que, por naturaleza, es un líquido superenfriado, pero con muchos gérmenes cristalinos, tal vez, en nuestro caso, microlíticos, pronto a entrar en fusión cuando descienda la presión, o aumente la temperatura, o se verifique una reacción química que actúe en uno u otro sentido. Entonces se produciría un magma. La cristalización, como ahora la observamos con el microscopio, sobrevendrá, opuestamente, por un descenso de temperatura o por un considerable aumento de la presión, pero siempre que los gases y vapores puedan emigrar.

El aumento de la temperatura local para la formación del magma, es difícil de justificar, ni aun siquiera por la radiactividad, ya que ésta es casi nula en muchas erupciones y, singularmente, en las basálticas. En cambio, basta una descompresión, como antes hemos dicho, para que la materia en ese estado complejo, con gases ocluídos, disueltos y adsorbidos, con propiedades físicas de un sólido y sometida a la presión gravitacional de su techo, salga de su equilibrio. Una fractura, una falla que la afecte en profundidad, puede ser causa de que los gases y vapores se liberen, arrastrando consigo al magma. Lo único que aun queda por dilucidar, es la anomalía de hipocentros muy profundos que han existido en el Japón, para lo que la ciencia actual puede encontrar explicación.

Quizá me haya extendido, más de lo necesario, exponiendo ideas originales sobre la génesis del vulcanismo, aun cuando he procurado que no fuesen más que una ligera ráfaga de mi pensamiento, omitiendo otras muchas consideraciones. Una corteza sólida, como requiere la sismo-

logía, cristalizada por la presión, como algunos pretenden, y presta a entrar en fusión, porque las rocas fluyen, es para mí muy difícil de concebir y, por ello, me he visto obligado a consignar mis opiniones. La pulverización de los cristales, o del vidrio, por explosión, que hallamos en el polvo vulcánico; las propias inclusiones que encontramos en los cristales, estudiados con el microscopio; la gran abundancia de vapor de agua en las erupciones, etc., etc.; parecer dar derecho a pensar que con los caracteres físicos de un sólido, puede existir una corteza no meramente cristalina sino con grandes cantidades de vapor de agua, que funden en cuanto descienda la presión y actúe entonces la temperatura, como sucedería con el hielo, de la experiencia de Bridgman. En el vulcanismo, hemos de tener en cuenta además, el carácter explosivo, por así decirlo, de la rápida expansión de los gases y vapores, bien puesta de manifiesto en la forma de las cineritas.

### III. EL VULCANISMO HISTÓRICO

Son muy escasos los antecedentes que podemos reunir acerca del vulcanismo histórico, por la evidente razón de que la historia política de La Palma data del año 1492, en cuya fecha fué conquistada por Fernández de Lugo. De aquí que no tengamos noticia más que de las siguientes erupciones, cuyo estudio comparativo sería tan aleccionador como de interés científico para un Centro como el nuestro.

Abril, 1585: Volcán Tacandé, en término de Los Llanos.

Octubre, 1646: Volcán Martín, en término de Tegalate.

Noviembre, 1677: Volcán San Antonio, término. Fuencaliente.

Octubre, 1712: Volcán El Charco, en término de El Paso.

1936-1939: Movimientos sísmicos, en término de Fuencaliente.

Todas ellas quedan consignadas, aproximadamente, en el mapa que acompañamos al final de este informe, completando aquél con otras coladas de fecha incierta, pero no extraordinariamente lejana.

La erupción del volcán de Tegalate en 1646 arrojó bastante lava, que también vertió en el mar, estableciendo

una línea de conos escalonados en el terreno. La de 1677 del volcán San Antonio, en término municipal de Fuencaliente, comenzó el 22 de noviembre y cesó el 21 de enero de 1678, en cuyos dos meses de actividad se abrieron varias bocas, con un cráter principal, que se conserva muy bien, en las proximidades de la carretera general del Sur. Vertió su lava, de tipo basáltico, en una extensa zona del litoral oeste de la isla, a los lados del actual faro de la punta de Fuencaliente.

Los distinguidos ingenieros Sres. Gavala y Goded, en su notable «Informe relativo a los aprovechamientos de aguas subterráneas en las Islas Canarias» (Instituto Geológico, 1928), se hacen eco de un episodio acontecido durante esta erupción, que también nos han relatado diversas personas. La efusión lávica se derramó sobre un manantial minero-medicinal, denominado Fuente Santa, que por su termalidad había dado nombre al pueblo de Fuencaliente, desde la época de los aborígenes de la isla, al cual denominaban «tagragito», que en guanche significa «agua caliente». Acudían a dicho manantial muchos enfermos, no sólo de la isla sino de diversos países, atraídos por las sorprendentes curaciones que el manantial producía. De dichos ingenieros tomo la cita del visitador eclesiástico D. Juan Pinto de Guisla, quien manifestaba en 1680 que «por lo cálido de sus aguas dió nombre al distrito de Fuencaliente, y por lo medicinal, para varias enfermedades, recibió el nombre de Santa». Recogiendo un anhelo popular proponen su realumbramiento, que ya se ha intentado alguna vez, pero del que se ha desistido por dificultades económicas, ya que las técnicas son fácilmente obviabiles, porque el manto de lava no tiene más que 20 metros de espesor, y se sabe con bastante exactitud el lugar de emplazamiento. Con un pozo y dos pequeñas ga-

lerías de investigación, entienden que podría investigarse, proyecto que, por lo acertado y por recoger una tradición de alto valor sentimental para los isleños, nos complacemos en renovar. Además, en estos momentos podríamos adquirir allí muchos conocimientos acerca del proceso de consolidación de la lava, temperatura, grado geotérmico, etcétera, que no sólo son de gran interés científico, sino también aleccionadores para el porvenir.

Ya es bastante que se tengan noticias desde el siglo XVI, y ello dice mucho a favor de los palmeros, pero aun puede añadirse la siguiente narración del proceso eruptivo del año 1712, copia de cuyo relato debo a la amabilidad del Sr. Alcalde de El Paso, D. Antonio Pino:

«*Jesús, María y José.*—Año de 1712.—El día Miércoles de este año de 1712, que fué 4 de Octubre, comenzó a temblar la tierra y continuó así unos días y noches . . . . . ocho temblores hasta el día 8 que hubo más de 15 en la noche, y sosegando algo, hubo uno mayor y comenzó a jumar la tierra en la Hacienda del Charco de Dña. Ana Teresa Massieu, mi tía, y fué en donde llamaban la fuente, por haber allí una de agua dulce muy delgada; el Domingo 9 de dicho mes a horas de la 1 del día, reventaron dos bocas, una en un lomito que estaba sobre dicha fuente, y la otra luego, inmediato debajo; ambas arrojaron gran cantidad de fuego y piedras y alguna ceniza; y la de abajo al amanecer del día siguiente comenzó a vomitar malpaís que vino corriendo muy . . . . . varió a dar a las casas del malpaís viejo y por un lado de ellas corrió al lomo de Jinaldo y de allí al mar y la boca más alta continuó arrojando gran cantidad de piedras, de suerte que estando en un lomito en un barranco, hizo una montaña tan grande que igualó a la cumbre, pero, de . . . . . nada que arrojaba sería más

que hasta el pie de la montaña y el día 15 de Octubre vino como bajando la tierra desde dicha boca principal hasta inmediato a una montañita que estaba sobre las casas de M.<sup>a</sup> Antonia de Sotomayor y en donde llamaban la Jindana y a trechos echó muchas bocas que serían doce bocas poco más o menos. Y pegado a las casas de dicha mi tía María Antonia a un tiro de escopeta abrió la última boca, arrojando todas ellas malpaís muy líquido que de noche parecía cobre derretido y de día negro y se veía correr precipitadamente aunque por último iban encima piedras caminando con flema; haría en las tierras de dicha mi tía Dña. Ana, de daño, 40 fanegas de sembradura muchos baldíos y barrancos que tupió, en donde se destetaba mucho ganado en medio, y fué milagro del glorioso Patriarca mi . . . . . San José escapase lo demás y no se quemase casa alguna, ni otra cosa que los estanques: en la Hacienda de M.<sup>a</sup> Antonia le llevaría 60 fanegas de sembradura, de lo mejor y más apreciable de la tierra que era lo mejor de la Isla y le quemó dos casas, pajeros y graneros y un estanque y el volcán cesó el día 3 de di . . . . . antes que amaneciera.

»(Esta descripción está tomada de unos apuntes antiguos de D. Juan Agustín de Sotomayor. Los espacios en blanco corresponden a palabras ilegibles).»

Resulta que, en el lapso de 127 años, existieron cuatro erupciones, espaciadas 61, 31 y 35 años, respectivamente. Sucede una calma de 237 años en su actividad volcánica, tras la cual, sobreviene la quinta erupción, que ahora consideramos. Sin embargo, la tranquilidad sísmica ha sido algo menor. Los terremotos de los años 1936 y 1939 constituyeron los primeros anuncios de cierta inestabilidad, acerca de los cuales un erudito palmero, el Sr. Apolo de

las Casas, manifiesta lo siguiente: «En la primavera de 1939, y durante más de un mes, la isla se movía a cada rato, como un simple juguete. Trepidaban puertas y ventanas; las personas se levantaban de los asientos, mirándose en silencio. En el pueblo de Fuencaliente, cerca del volcán de San Antonio, se observaron las mayores vibraciones. Se resquebrajaron paredes de piedras de las huertas, se abrieron grietas de varios centímetros en algunas viviendas y se percibían fuertes ruidos subterráneos. Pero no hubo erupción. En 1936, se sintieron, también, varios movimientos, de menor intensidad».

Por otra parte, es natural que no nos atengamos, para formar opinión acerca del número y cualidades de los volcanes modernos, a la historia escrita de La Palma, máxime cuando en su estructura geológica encontramos escrita la historia de su vulcanismo. De haberse alumbrado los «tiempos históricos», a que nos referimos en vulcanología, con mayor anterioridad, es evidente que el registro de las erupciones sería mucho más numeroso. En nuestras rápidas excursiones hemos encontrado, en diversos lugares, un «malpaís» en período de lapidificación, más o menos avanzado, y con resistencia ora débil, ora tenaz, para dejarse vencer por el reino vegetal, que es el héroe siempre triunfante de los terrenos volcánicos. Las características externas de dichas efusiones, son en todo análogas, cuando no iguales, a las de la masa extrusada por el volcán de nuestros días. Su estudio metódico podría reconstruir un pasado, sin otra huella en el campo de la historia, porque esta isla, cuna de tantos valores intelectuales y materiales, se incorporó, muy tarde, al mundo de la cultura.

#### IV. DIARIO DEL VOLCÁN

Con objeto de reseñar cronológicamente el curso de los fenómenos, hemos procurado obtener la información necesaria y veraz, contrastada por cuantos medios nos han sido posibles, en cuya labor nos han auxiliado eficazmente las autoridades locales, D. Antonio Capote, la Guardia Civil, Antonio González Rodríguez, que es guarda jurado de la Asociación de Cazadores de la zona Sur de la Isla de La Palma, el primero que presencié la iniciación del volcán y al que hemos tenido a nuestro servicio como práctico del terreno; además de otras muchas personas de quienes hemos solicitado sus informes para completar la descripción de lo acaecido en los primeros momentos. Como compendio de nuestros interrogatorios y como resumen de nuestras propias observaciones en toda la zona vulcánica, exponemos a continuación el proceso diario de los fenómenos:

*24 de junio de 1949.*—Los moradores del Valle de Aridane, de la ciudad de El Paso, se habían acostado con el ánimo dispuesto a pasar en paz y con alegría las fiestas que anualmente dedican al Sagrado Corazón de Jesús. Una solemne función religiosa el día 24, la procesión del

26 que ha de caminar sobre alfombras de flores en sus tres kilómetros de recorrido, para cuya formación se precisa toda una noche de trabajo; y el solemne espectáculo nocturno del 27 en que a medianoche se celebra la representación del «Carro», portador de la noble y serena figura del Divino Redentor. Se celebraba, también, en dicho día 24, la festividad de San Juan, y de ello proviene que el volcán, por iniciativa popular, se conozca con dicho nombre. La ciudad de Los Llanos de Aridane también preparaba sus fiestas, dedicadas a Ntra. Sra. de los Remedios, que debían comenzar el día 26, con un espléndido programa.

Amaneció el día despejado y luminoso. Aproximadamente, a las 8,30 de la mañana (7,30 de hora solar por el meridiano de Greenwich, y en lo que sigue, nos referimos siempre a la hora oficial española), en los alrededores de la montaña de Nambroque y entre las de Los Lajiones y El Duraznero, en la Cumbre Vieja, se produjo una pequeña explosión, seguida de alguna salida de humo, que, a juicio del antedicho guarda Antonio González, de servicio en las proximidades de aquellas montañas, parecía «como si procediese del incendio de algún tronco de pino, por lo que no le concedió gran importancia». Pero a las 10,30, hallándose el mismo guarda cerca de la Montaña de Henríquez, del término municipal de El Paso, observó que en el lugar donde se había producido la explosión, se elevaba una columna de humo mayor y más densa, lo que, según sus palabras, le hizo sospechar que «pudiera tratarse de algo así como un volcán».

A las 11 de la mañana el majestuoso espectáculo de, la elevación de una inmensa columna de humo negro, «que ascendía hasta unos 2.000 metros de altura» sobre las crestas de las montañas, era contemplado por una compacta

multitud estacionada en la plaza de Manuel F. Sosa Taño, de El Paso, a la salida de la festividad religiosa celebrada en la iglesia de la ciudad. Lo propio sucedía en Los Llanos y en otros muchos pueblos de la isla.

Las autoridades locales se trasladaron inmediatamente a Las Manchas, Jedey y Charcos, que por su situación geográfica pudieran correr grave riesgo, y desde la carretera general del Sur comprobaron que el humo brotaba en aquella parte alta de las montañas, frente a dichos pagos o poblados. Todos los vecindarios conservaban una perfecta tranquilidad, aunque algunas cenizas llegaban a la carretera, proporcionando otro elemento de juicio acerca de la magnitud del fenómeno. En las inmediaciones externas del cráter caían algunas piedras, probablemente de la caja, y a baja temperatura, porque no produjeron ningún incendio.

Durante la madrugada se habían percibido algunos movimientos sísmicos, de pequeña intensidad, en toda la isla, aunque más claramente en Las Breñas, Mazo y en el Valle de Aridane, sin que ocasionasen daños; temblores que continuaron, levemente, durante el resto del día.

Toda la tarde, pese a que también se produjeron algunos sismos, fué invertida por los vecindarios cercanos, para saciar la curiosidad que el fenómeno inspiraba. En camiones, autobuses y coches ligeros, se dirigieron al Refugio o casilla forestal, para seguir desde allí, a pie, al lugar de la ocurrencia, después de hora y media de camino, por lo cual son muchos los testigos oculares de los primeros acontecimientos. Todos reflejan su asombro ante el maravilloso espectáculo del lanzamiento de una enorme columna de humo negro, que brotaba como efecto de explosiones sucesivas, acompañadas de grandes ruidos subterráneos.



Esta erupción ha sido localizada por nosotros en una concavidad del terreno, entre dichas montañas de Los Lajiones y del Duraznero, principalmente en esta última. Existe una boca, de unos 20 metros de diámetro, que arroja gran cantidad de piedras y cenizas, apreciándose grandes grietas en los terrenos inmediatos, tema que desarrollaremos en otro lugar.

*Día 25 de junio.*—El volcán continúa durante todo el día lanzando densa humareda. Por la mañana, pudieron observarse dos bocas que arrojaban piedras y cenizas, algunas de ellas incandescentes, comenzando el destrozo de los pinares próximos y percibiéndose «algo de olor a azufre».

Por la tarde, desde el casco urbano de Fuencaliente hasta Las Manchas y, especialmente, en el pago o poblado de Los Charcos, donde está situada la ermita de Santa Cecilia, caían abundantes cenizas, dando al terreno un tono grisáceo, algo oscuro.

Al final del día, el humo era más claro y menos denso, con mayor proporción de elementos finos.

Se han producido pequeños movimientos sísmicos, apenas perceptibles en la localidad de El Paso, pero de mayor intensidad en los poblados de Las Manchas, Jedey y Charcos, precedidos de ruidos subterráneos en la zona montañosa. La intensidad de estos fenómenos ha sido menor que en el día de ayer, y también han sido menos frecuentes, lo que se interpretó como una mejoría de la situación.

A consecuencia de un sismo se produjeron varios desprendimientos de rocas en algunos riscos, dando lugar a que los cantos rodados por la ladera llegasen a la carretera general del Sur, entre los kilómetros 38 y 39. Entre

otros, se produjo la caída de la parte alta o coronación del risco de Los Campanarios, sin ocasionar daños, del cual debían proceder los antedichos cantos rodados.

Las columnas de humo fueron visibles desde muchos lugares, incluso desde el norte de Tenerife.

*Día 26 de junio.*—No se perciben sismos en El Paso. La columna de humo es menos densa, y algunas veces desaparece el fenómeno, para surgir después de unas horas nuevamente, pero nunca con la intensidad de los días anteriores.

Por la noche, se observa un pequenísimo reflejo, apenas perceptible desde El Paso, y de vez en cuando, «algo así como un chispazo eléctrico de poca magnitud», de lo cual trataremos en el lugar oportuno, puesto que en este diario del volcán no nos proponemos más que consignar los fenómenos observados, empleando el lenguaje vulgar. A las 23 horas, comenzó a decirse que «el volcán lanzaba llamaradas de fuego», pero al día siguiente el personal de observación manifestó que tales llamas habían obedecido al incendio de un monte próximo, producido por la caída de piedras incandescentes. Fué sofocado por la Brigada Municipal y el personal de Montes.

En este día realizó un vuelo sobre el volcán, en un avión militar, el Excmo. Sr. Capitán general de Canarias, Sr. García Escámez, manifestando la prensa que había existido mala visibilidad, porque una columna de humo de 4.000 metros de altura envolvía al avión, el cual volaba a 2.500 metros. También se dijo que dicha columna de humo se extendía en dirección Sur, con una longitud superior a 100 kilómetros.

Debió existir, por parte de los informantes, una interpretación poco rigurosa de los fenómenos, porque lo cierto

es que casi todo el día estuvo nublado, pero no por los efectos del volcán, sino por nubes acuosas, como lo comprueba el hecho de que a media tarde se condensaron, produciendo una débil llovizna, quedando el cielo por la noche completamente despejado. Escasa importancia pudo tener, por consiguiente, en la visibilidad, el lanzamiento de cenizas. En su lugar, trataremos el fenómeno de la caída de cenizas, consignando ahora solamente que, a nuestro juicio, han existido notables exageraciones al cifrar la altura de elevación de la columna de humo en 4.000 y hasta 6.000 metros.

Es digno de anotar que tanto Los Llanos como El Paso continuaron celebrando sus fiestas, y todos los jóvenes concurren a medianoche, para preparar las alfombras de flores en el trayecto que había de recorrer la procesión.

*Día 27 de junio.*—Al cabo de varias horas de tranquilidad, se produjo un fuerte ruido; seguido de un movimiento sísmico que se percibió en diversos poblados, e incluso en Fuencaliente. Los sismos van siendo más frecuentes y cada vez más intensos. En Las Manchas han producido algunos daños en construcciones de mampostería en seco. Dentro de la zona eruptiva del Duraznero se abrió, repentinamente, una grieta en el suelo; por la que se desprendieron gases, produciendo una ligera conmoción al hijo de un guarda forestal.

De las dos fracturas o bocas abiertas en el Duraznero, una se dirige hacia Mazo, por la parte de La Sabina y Fuentes Rotas, la cual solamente arroja cenizas. La otra se abre con dirección al término municipal de El Paso, y de ella brotan de manera intermitente gases y piedras incandescentes, que incendian los montes próximos.

Ha sido frecuente durante estos días, desde la inicia-

ción del volcán, la caída de cenizas conducidas por el viento, en Los Charcos, entre Jedey y Fuencaliente, si bien en escasa cantidad.

La bruma dificulta la visibilidad en las cumbres. Las autoridades locales tienen adoptadas todo género de medidas.

*Día 28 de junio.*—Dentro de su débil intensidad, los sismos continúan siendo frecuentes, produciendo pequeños daños materiales en Las Manchas, en construcciones deficientes, destinadas a pajares.

Se observa, por la mañana, escasa actividad volcánica. A las 18,30 aparece una nueva boca, por la que se eleva una inmensa columna de humo blanco, que poco a poco va formando una grandiosa «coliflor», continuando así por la noche, durante la cual arroja gran cantidad de piedras incandescentes, abriéndose en el espacio como una fantástica descarga de gigantescos cohetes, viéndose caer en forma de lluvia en las inmediaciones de su salida. Este fenómeno fué observado, perfectamente, desde la plaza de El Paso y otros puntos, diciéndose que se había abierto una nueva boca a unos 400 m. al oeste de la primitiva.

Las bocas se agrandan, así como las grietas, dando lugar a hundimientos en la zona del volcán, y a consecuencia de las proyecciones incandescentes se produce un incendio en los pinares, que se trata de extinguir, a pesar de las dificultades.

*Día 29 de junio.*—A las 3,30 de la madrugada tuvo lugar un movimiento sísmico y, poco después, otro bastante intenso, produciéndose nuevos derrumbamientos de construcciones de mampostería en seco en Jedey y en Las Manchas, y algunas grietas en edificios mejores, de mampostería con mortero.

El volcán continúa lanzando durante la mañana bastante humo negro, en columna vertical, por la escasa perturbación que la brisa produce; pero por la tarde, el viento obliga a la columna a tenderse en dirección SO.

Prosigue el incendio del pinar cercano al volcán.

*Día 30 de junio.*—Se originan sismos espaciados y algo intensos que se perciben, principalmente, en El Paso, Los Llanos y otros puntos, pero sin producir destrucciones.

Continúa la intensa humareda, sin variaciones notables, y se ha extinguido el incendio del pinar.

*Día 1 de julio.*—Continúan los fenómenos como ayer, pero se observan menos sismos y más espaciados.

*Día 2 de julio.*—Amanece un día totalmente claro, que va transcurriendo en El Paso sin ruidos ni movimientos sísmicos de ninguna clase. Solamente en los barrios de Las Manchas y Jedey se perciben algunos, con mucha menor intensidad que en días anteriores. Pero, a las 21 horas, se produce un temblor de tierra, fuerte y de bastante duración, que se ha estimado en 8 segundos, dando lugar a nuevos derrumbamientos en Las Manchas y Jedey, y a agrietamientos en casas de buena construcción. Se desprendieron muchas rocas del risco de Los Campanarios, y estos derrumbamientos interceptaron la carretera sur de la isla, entre las localidades de Los Charcos y Las Manchas, restableciéndose pronto la circulación por el personal de Obras Públicas. También se agrietó el puente de dicha carretera, e incluso la propia vía de comunicación. Estos temblores fueron también intensos en Tirimaga y Tigalate, percibiéndose, igualmente, en la zona de la costa oriental.

La actividad del volcán puede considerarse como at-

nuada, lo que permitió a algunos observadores, que se dirigieron a Tigalate, comprobar que lo que ayer se creía que era una nueva boca es, en efecto, una grieta de la que brotan humos, y que se halla emplazada en la montaña denominada Los Morenos, a unos 400 metros del cráter primitivo.

*Día 3 de julio.*—En la mañana de este día se reconocieron los daños ocasionados en las viviendas de Las Manchas y Jedey. Casas totalmente destruidas, algunas con grandes grietas, otras con enormes boquetes de más de tres metros de diámetro, etc., y muchos hoyos por el choque de las piedras erráticas de gran volumen, derrumbadas desde la ladera.

La actividad volcánica continúa declinando.

*Día 4 de julio.*—El volcán lanza poco humo, y no se perciben movimientos sísmicos.

*Día 5 de julio.*—El volcán continúa como ayer.

*Día 6 de julio.*—Cuando parecía que los fenómenos volcánicos caminaban hacia su extinción desde el día 3, se produce un nuevo paroxismo en el día de hoy. Se ha verificado la apertura de una nueva boca en El Duraznero, hacia Mazo, en la madrugada, y por ella ha tenido lugar la proyección de una densa humareda desde las primeras horas, pareciendo que los restantes cráteres se hallan casi inactivos, lanzando sólo algunos humos blancos. Se han percibido algunos débiles sismos, que no han causado daños.

La proyección de materiales sólidos tuvo su máximo en las primeras horas de la tarde y, según el Observatorio

Meteorológico de Izaña, en Tenerife, el resplandor resultaba visible desde dicho lugar durante la noche. Añade, que entre las 17 y las 18 horas, las densas columnas de humo negro lanzadas por el volcán, pasaron como una nube sobre el pico del Teide, continuando después por una gran zona tinerfeña del Norte. La columna volcánica en forma de nube compacta, al llegar a una altura de 1.500 m. sobre la isla de La Palma, fué empujada por la fuerte corriente del NO., ofreciendo el aspecto de una nube tormentosa. Hubo momentos en que parecía proceder del mismo Teide, con apariciones y desapariciones de su Pílon de Azúcar, cúspide del cono situada a 3.710 metros de altitud. Este fenómeno fué visible durante todo el tiempo que la luz diurna permitió su observación.

En el volcán decreció la actividad hacia las 20 horas, y por la noche se renueva la proyección de arenas y piedras incandescentes, en igual forma que el día 28 de junio.

*Día 7 de julio.*—Durante la madrugada se registraron algunos movimientos sísmicos, principalmente en las zona de Las Manchas, Jedey y Puerto de Naos, así como vario derrumbamientos de rocas hacia la costa occidental.

Durante la mañana el volcán continúa mostrando un actividad análoga a la de ayer, y al anochecer se present un espectáculo que sorprende a los vecindarios próximos por ser más intenso que los contemplados anteriormente. El lanzamiento de cenizas y piedras incandescentes a gran altura, que, desde la plaza de El Paso, por ejemplo, parecía que caían fragmentadas, como una lluvia de fuego.

Hoy se ha observado que cuando emerge una columna de humo del volcán, se oyen fuertes ruidos subterráneos que no son iguales a los de los primeros días de la erupción, pues mientras aquéllos daban la sensación de un

bombardeo lejano por artillería pesada, los de ahora parece que proceden de grandes calderas subterráneas en ebullición, lo que hace presumir la presencia de la lava.

*Día 8 de julio.*—El vulcanismo entra en una fase nueva. A las 4,30 de la madrugada, una pareja de la Guardia Civil que se hallaba de servicio en la carretera general del Sur, observó «una fuerte humareda que brotaba del Llano del Banco, produciendo una fuerte explosión subterránea seguida de un movimiento sísmico». Completa la versión el pastor Agustín Pérez Díaz, quien se hallaba con dos hijos, no lejos de un escarpe, en una pequeña cueva que existía en el Llano del Banco, conocida con el nombre de Caño del Fuego. Servía de albergue para el ganado y de refugio para los pastores. A esta oquedad acostumbraban a acudir, solícitamente, las cabras, pues parece ser que la temperatura era templada, y en ella se encontraban durmiendo esta madrugada algunas de ellas. El pastor sintió como una explosión, que atribuyó a alguna manipulación con gasolina realizada por unos turistas ingleses que se encontraban en el Refugio, o sea en la casilla forestal, y se dirigió a buscar las cabras que estaban en el citado Caño del Fuego. Con la sorpresa consiguiente, vió, a las siete de la mañana, que salía de allí una gran masa negra de piedras, y, después, un torrente de fuego.

A la antedicha hora de las 4,30 cesó, repentinamente, el lanzamiento de humo por las bocas abiertas en el Duraznero; y sin ninguna señal de gran alarma, ni siquiera enviando humo como heraldo, en lo alto del Llano del Banco, del pago de Las Manchas y del término municipal de El Paso, a una altitud de unos 1.300 metros, y a una distancia de unos tres kilómetros en dirección NNO. de las bocas del Duraznero, corría, después, una informe

masa enrojecida, que bajaba hacia el poblado de Las Manchas, encauzada en el barranco de las Cubas. Avisaron telefónicamente a El Paso, a las ocho de la mañana, e inmediatamente se dirigió el alcalde con algunos concejales a dicho pago, comprobando que, en efecto, descendía una imponente masa de lava a velocidad considerable, por la gran pendiente del terreno, encaminada hacia Las Manchas. Aminoró su marcha cuando encontró un declive menos pronunciado, pero a las 9,30 de la mañana se encontraba a unos 500 metros de la carretera del Sur, cuyo corte era inminente.

Una rápida movilización, tan completa como espontánea, de camiones, autobuses, coches y de todos los medios de transporte, logró no sólo evacuar al personal, que todavía quedaba en sus fincas, sino también salvar diversos materiales y enseres domésticos, conduciendo personas y cosas, en larga caravana, a Los Llanos y El Paso, donde ya se encontraban evacuadas más de 1.000 personas, por los siniestros anteriores, a causa de los movimientos sísmicos. En los edificios públicos y en casas particulares de los pueblos del valle de Aridane, fueron alojados los nuevos evacuados.

La lava llegó a la carretera con una altura media de unos cuatro metros, cortándola en el kilómetro 43 (la carretera ha sido amojonada nuevamente después de levantado el mapa que acompañamos, por lo cual carecen de valor las indicaciones kilométricas del mismo), en una extensión de 380 metros, a las 14,15 de la tarde. Este seccionamiento equivale a la división de la isla en dos partes, las cuales, desde ahora, tendrán que comunicarse por mar. Fue preciso, también, evacuar la estación telefónica de Las Manchas, con la pérdida consiguiente de esta directa comunicación.

La corriente lávica, a corto trecho de la fisura de colada, se bifurcó en dos ramales, ocupando una anchura de unos 150 metros y una altura de cuatro. Después de la carretera continuó a unos 100 metros de la ermita de San Nicolás de Bari, en Las Manchas, cuya destrucción se temía, ensanchó después considerablemente su frente, y atravesando tierras de labor, con diversos cultivos, siguió su marcha hacia el mar en forma de una ola lenta y viscosa.

Al amanecer de este día se observó desde El Paso y otros lugares, algo así como el resplandor de una aurora de unos dos kilómetros de largo por unos 200 ó 300 metros de altura. Era el reflejo de la lava que llevaba ya unos dos kilómetros de recorrido.

Durante el día no se percibieron ni ruidos ni movimientos sísmicos.

La corriente de lava ha afectado a unas 300 familias y, según se dice, han quedado destruidos 20 edificios entre viviendas, bodegas y pajares.

*Día 9 de julio.*—Se observan débiles movimientos sísmicos, más perceptibles en las cercanías de Las Manchas y Jedey.

A las 6 horas había ensanchado el río de lava que corre hacia el mar y, en general, también ha experimentado un aumento en su altura. A las 9,30 sigue fluyendo con bastante intensidad en la fisura. Desde anoche, a las 0 horas, se encuentra embalsada en el paraje denominado Hoyo del Verdugo, con muy pequeños y lentos avances, afectando a una zona de viñedos y de frutales. Se trata de un terreno algo ondulado y ancho.

El brazo de lava que se encontraba paralizado en las inmediaciones de la ermita de San Nicolás, se ha desviado

esta mañana de dicho templo, iniciando, nuevamente, la corriente un movimiento muy lento, con lo cual, existen dos ramales de lava.

En la zona alta, o sea entre la fisura y la carretera, la lava ha alcanzado a las 12 horas de hoy una altura de unos cuatro a seis metros, especialmente en las inmediaciones de la fisura. En las primeras horas de la mañana la altura en la carretera era de 4,50 metros. De la carretera hacia el mar puede estimarse en 4 ó 4,50 metros, y en Hoyo del Verdugo la anchura de la corriente lávica ha llegado a alcanzar el valor de 500 metros, aproximadamente.

En Las Manchas, término municipal de El Paso, la lava se encuentra hoy a 1,5 Km. de distancia al mar, y parece dirigirse a cortar la carretera de Puerto Naos. Es muy probable que discurra por Las Hoyas. La distancia de la fisura al mar es de unos 7,25 Km. en línea recta. Continúa ensanchándose la corriente en dirección al lugar denominado Cuatro Caminos, en Las Manchas, y puede decirse que, en general, ha aumentado la anchura de todo el río. En Las Manchas, hacia Puerto de Naos, se desvía de su curso actual, marchando lentamente en dirección a la costa y alejándose algo de la zona de dicho puerto. Parece amenazado el pago de Todoque, por lo cual ha sido evacuado hoy.

A las 12 horas, se han desprendido del caudal principal de lava dos nuevos brazos por la finca de Antonio Abad, con un ancho aproximado de unos 200 m. y 300 m., casi paralelos, que a una velocidad de unos cinco metros por minuto, cruzan una nueva zona de Hoyo del Verdugo y atravesaron la carretera de Puerto de Naos por el lugar de la Noria, cortándola nuevamente entre los kilómetros 6 y 7, precipitándose, después, hacia las fincas de la Montañita de las Bermejás, para dirigirse al mar, probablemente

te, por el cauce anterior. Amenazan el antedicho pago de Todoque.

Tanto de día como de noche, existe una gran afluencia de gente en todos los lugares que constituyen buenos observatorios, haciéndose difícil el paso por la carretera ante la gran cantidad de vehículos. Los curiosos pueden acercarse hasta la orilla del río de lava, porque no desprende gases tóxicos ni molestos, sino, simplemente, algo de vapor de agua. La corriente deja en sus bordes derrames de lava, que al enfriarse son buenas canteras de muestras para los turistas.

*Día 10 de julio.*—La tranquilidad sísmica es bastante completa. Prosigue la erupción de lava en el Llano del Banco, avanzando la colada hacia el término de Puerto de Naos, a cuya carretera llegó en la tarde de ayer. Después de atravesarla fué formando remansos en las depresiones del terreno y aumentando su anchura. A las 23 horas se separó de la masa principal un nuevo ramal que comenzó a avanzar en dirección a Puerto de Naos, poblado de pescadores en el que se han construído muchas casas de recreo, como estación veraniega. Ha desaparecido la amenaza que se cernía sobre Todoque.

Por la tarde, la corriente de lava, con un frente de unos 500 m., avanzaba hacia la costa en forma de imponente cascada. La gran masa almacenada en el paraje denominado Las Hoyas se ha bifurcado en dos brazos, que a poca distancia, y flanqueando Puerto Naos, se dirigen al mar.

El suceso más destacado ha sido la llegada de la lava al mar que, en verdad, es siempre un espectáculo altamente impresionante. A las 19,30 de hoy se precipitó sobre las olas por un acantilado de unos 5 m. de altura, cerca de Puerto de Naos, hallándose baja la marea.

*Día 11 de julio.*—En El Paso se han sentido dos ligeros movimientos sísmicos. La erupción transcurre pacíficamente, sin ruidos sísmicos ni explosiones. Esta mañana, cuando hemos visitado el corte de la carretera, la altura de la muralla que forma la corrida era de unos cinco metros, y la lava corría con toda fluidez. Embarcados en una falúa hemos pasado a las 19 horas por enfrente del vertedero de lava al mar, donde se forman nubes de vapor que saltan a 50 ó 60 m. de altura. Por la noche presenciamos el espectáculo nocturno del río de lava, al otro lado de por la mañana, o sea en su lado norte, en el trozo de carretera que desde El Paso conduce al mencionado corte. Es sorprendente su fluidez, y el proceso de labrarse su cauce como una corriente fluvial.

En nuestra visita a la zona del Duraznero inferimos la posibilidad de que se produjeran nuevas fracturas, según manifestamos en nuestra información telegráfica. Actualmente, se halla casi inactivo. Sólo acusa una débil fase fumarólica.

*Día 12 de julio.*—Nuevo fenómeno. El Duraznero continúa lo mismo que ayer, pero en Hoyo Negro se ha producido, súbitamente, una nueva fractura, que pronto tenía tres bocas, por las cuales emite polvo, lapilli y rocas de la caja hasta una altura de unos 700 metros. Existen intermitencias, o un cierto ritmo, en las emisiones; y con los caracteres de un nuevo cráter incipiente. Continúa la efusión de lava del Llano del Banco, que sigue labrando su cauce como una corriente fluvial, precipitándose por los rápidos con velocidad torrencial. Mide unos 60 m. de anchura. Un brazo de lava continúa amenazando al caserío de Cuatro Caminos, y el de Puerto Naos parece que se detiene. Aumentaba algo la anchura de los ramales, continuando la

caída al mar después de pasar por Las Hoyas. La tranquilidad, a consecuencia de la falta de movimientos sísmicos, es bastante completa, aunque nos comunican que se produjeron derrumbamientos en La Caldera de Taburiente.

Se dice que van arrasadas, en Las Manchas y Jedey, 70 casas por la lava, y 50 por los movimientos sísmicos.

*Día 13 de julio.*—En El Paso se percibieron ocho temblores de tierra: tres débiles desde la 1 hasta las 2 horas de la madrugada, uno acompañado de ruido a las 7,45; otro a las 11,45, pero de unos 5 segundos de duración; otro a las 12,20, más breve, con intensidad de 4-5 de la escala de Sieberg estos dos últimos; y dos débiles a las 20,15 y 20,20 horas. Los más intensos produjeron derrumbamientos de rocas en La Caldera de Taburiente y en las laderas escarpadas. Tres de estos movimientos sísmicos más intensos se han percibido en toda la isla, singularmente en La Sabina y Lomo Oscuro, menos en Los Llanos y en Tazacorte, y han sido bastante fuertes en algunos puntos de la costa oriental. Se han agrietado casas y hasta se han producido derrumbamientos de muchas de ellas en Lomo Oscuro y La Sabina, resultando también algo afectada la región de Montesdeluna, en Mazo.

El polvo volcánico lanzado por Hoyo Negro, que invade la atmósfera, debe alcanzar grandes distancias. Se llega a este cráter desde el Refugio forestal (1.430 m. de altitud), bordeando las laderas de Bidigoyo, hacia el E., hasta el pie del Topo de Hoyo Negro, inmediato a la montaña de Namproque, que constituye la parte más elevada de una caldera volcánica situada entre Llano del Agua y la antedicha montaña, en forma de óvalo. Es una ascensión, penosa, no sólo por la pendiente media de más de 50°, sino por el piso, que se halla constituido por arenas y esco-

rias hasta llegar a la cumbre (1.870 m.), cuyo borde, por el SO., se halla hundido en franjas de dirección S. 30° O. Este rumbo, como todos los consignados en este informe, debe entenderse como meramente aproximado, puesto que hemos observado grandes perturbaciones en la aguja magnética, aun mayores de las que son frecuentes en las islas del archipiélago en época normal. La altura del hundimiento del borde es de unos dos metros, y la anchura de las fajas hundidas es de unos 40 metros, existiendo varias grietas.

Durante la visita, se hallaba en plena erupción de cenizas y rocas de la caja, observándose que algunos fragmentos de estas últimas debían hallarse a temperatura notablemente más elevada que los demás, dejando en su trayectoria una estela de humo blanco, quizá de vapor de agua, y se partían en muchos trozos al caer al suelo, como bombas volcánicas. Las demás caían calientes, pero no al rojo. La altura de elevación de tales proyectiles excede en algunos momentos de los 200 metros, y la mayoría salen verticalmente, aunque tampoco faltan los que emergen con trayectoria inclinada. Existen árboles tronchados por ellos en un radio de 1.000 a 1.100 metros del cráter.

La extrusión de cenizas tiene lugar en el fondo, de escaso desnivel, de la antedicha caldera, pero no es posible precisar ni la forma ni la dimensión de la fractura, por hallarse, como decimos, en plena erupción.

La pulsación de la efusión es de cinco minutos para duración del lanzamiento de materiales, y de un minuto para la pausa o reposo.

Según nuestros barómetros, la altitud del cráter es de 1.820 metros, y se halla en término de El Paso, en la linde con el de Mazo.

El brazo de lava que se dirigía a Puerto de Naos ha

quedado estabilizado, y al llegar la corriente lávica a un estanque lleno de agua, se produjo una explosión. La lava flúida sigue llegando al mar sin variación notable, y el Duraznero continúa casi inactivo.

*Día 14 de julio.*—No se ha sentido más movimiento sísmico que uno débil a las 9,15 horas, de unos cuatro segundos de duración. Sin embargo, en un punto de la línea de fractura entre Duraznero y Hoyo Negro, observamos una fuerte trepidación a las 18 horas. Por la fractura se desprendía algo de gas sulfhídrico, aunque en pequeña proporción. En El Paso se percibe un tenue olor a gas sulfuroso.

En Hoyo Negro existen fracturas o grietas hacia el oeste que vienen emitiendo humos blancos.

Amaneció con una importante lluvia de cenizas debida a las proyecciones de Hoyo Negro, lo que da un triste aspecto de nublado e impide la visibilidad, precipitándose las cenizas, principalmente, en una extensa zona del oeste de la isla. Las embarcaciones que navegan por la costa, en aguas de Los Llanos y de Tzacorte, se cubren con un manto gris oscuro.

Por la mañana, el Hoyo Negro lanzaba menos cantidad de fragmentos de rocas, pero, en cambio, más ceniza. Algunos elementos se hallan incandescentes, habiéndose producido un incendio en los pinares, que prosigue en el día de hoy. En las inmediaciones del volcán han tenido lugar desprendimientos de tierra, que han ocasionado algunos daños, especialmente en el Llano del Agua y Hoyo Negro.

El río de lava continúa vertiendo al mar sin variación notable, ni en su caudal ni en su recorrido.



*Día 15 de julio.*—No se han producido sismos. La lluvia de cenizas que cubrió la región de El Paso y demás pueblos del Valle de Aridane, alcanzó unos dos milímetros de espesor, pero en El Refugio ya medía unos tres centímetros, y en la parte alta de las montañas unos 30, aunque, como es lógico, sus elementos eran más voluminosos. En Hoyo Negro alcanzó una altura de unos 70 centímetros, pero con elementos más voluminosos.

Sigue la lluvia de cenizas que cae en casi toda la isla, principalmente en el Valle de Aridane y en una extensa zona del mar.

Continúa el incendio en los pinares, y el personal tropieza con serias dificultades para extinguirle. El mar se encuentra bastante agitado a causa del viento, no creyéndose que tenga ninguna influencia el volcán.

Prosigue con igual intensidad la efusión de lava del Llano del Banco, y su frente en el mar excede, seguramente, de los 600 metros.

Un operador de NO-DO realizó un reportaje aéreo sobre el volcán, en un avión militar, que voló a 2.000 metros de altura sobre Hoyo Negro. Puede ser un buen dato para juzgar la visibilidad y la altura de las cenizas.

*Día 16 de julio*—Continúan los fenómenos sin variación sensible, así como la lluvia de cenizas, que alcanza en El Paso una altura hasta de unos cinco milímetros en lugares protegidos contra el aire.

*Día 17 de julio.*—Durante casi todo el día cesó la actividad de Hoyo Negro, lo que permitió su reconocimiento, encontrando un depósito de cenizas en los Llanos de l Barquita y Hoyo del Agua, de 30 centímetros como término medio, pero llegando en ocasiones a 70 centímetros d

altura, que a poca profundidad conservaban una temperatura de 50° C. El emplazamiento de la fractura se halla situado, como suponíamos, en un cráter antiguo. Se observan numerosos corrimientos de cenizas en alud que se precipitan por laderas y vaguadas. Con facilidad se provocan en pequeña escala estos movimientos con una piedra o un bastón, debido a la pendiente y a la movilidad de la ceniza. Al atardecer reanudó su actividad intensamente, y así continuó durante la noche. El río de lava del Llano del Banco sigue tranquilo y la sismicidad es nula. Pudo observarse que, cuando descendía la intensidad del lanzamiento en Hoyo Negro, aumentaba la cantidad de lava arrojada por el cráter del Llano del Banco

*Día 18 de julio.*—La sismicidad no ha tenido la menor importancia. Cesó la lluvia de cenizas, pero el cielo sigue nublado por su causa. En las emisiones de Hoyo Negro se observan intermitencias de largo período, que pueden estimarse en varias horas. De madrugada se halla casi inactivo, pero el Llano del Banco arrojaba más lava que de ordinario, hasta el amanecer, en que cesó la crecida. A las 20,30 comenzó, de nuevo, Hoyo Negro a lanzar rocas y cenizas, produciendo nuevos incendios en los pinares de las inmediaciones. Coincidiendo con este recrudecimiento, se registran por la noche, en la zona volcánica, algunos ruidos subterráneos y sismos de débil intensidad.

*Día 19 de julio.*—La sismicidad ha sido nula. En la mañana de hoy continúa estacionaria la situación de anoche. La lava, que en mayor cantidad, continúa ganando espacio al mar, forma un espigón de 400 metros de longitud y 900 de ancho, que se divisa perfectamente, desde la ermita de Argual, y personas conocedoras de las profundidades ma-

rinas, dicen que dicho espigón tiene, en su parte más avanzada, una profundidad de 50 metros, lo que es verosímil, según la cartografía. El Hoyo Negro continúa en plena actividad, lanzando densas columnas de humo negro, y el Llano del Banco sigue arrojando lava.

El brazo de lava que se había detenido en la costa, y que, de continuar, amenazaba a Puerto de Naos, se ha consolidado. La corriente lávica ha profundizado hondamente su cauce, que resulta, en ocasiones, capaz de contener la crecida que ha experimentado estos últimos días. Sin embargo, se ha desbordado en algunos sitios, si bien por la gran cantidad de lava fría que la bordea, no ha afectado mucho a nuevos terrenos. En algunas de las intermitencias, la crecida ha durado dos horas. En aquellos lugares donde la corriente lávica se precipita vertiginosamente, al obstruirse la corriente por grandes corrimientos desprendidos de los terrenos circundantes, se producen explosiones que lanzan la lava al aire, constituyendo un impresionante espectáculo. A lo largo del arroyo de fuego se oyen algunos ruidos, singularmente en las proximidades de la fisura de colada. Tales ruidos son producidos por las rocas que caen de las paredes del cauce, descalzadas por la corriente, y por hundimientos del terreno por encima de la fractura del Llano del Banco, donde se han desprendido más de 50 metros de la ladera.

*Día 20 de julio.*—Sismicidad muy atenuada. Durante la mañana el Llano del Banco arroja lava en gran cantidad, aumentando el caudal. Hoyo Negro persiste en su actividad, y se siguen observando las intermitencias y aparente relación interna entre ambas fisuras.

*Día 21 de julio.*—A las 12 horas se ha sentido un movimiento sísmico de ligera intensidad en Los Llanos, E

Paso, Tazacorte y Argual. Durante el día se produce una disminución en el caudal de lava que arroja el Llano del Banco, continuando con igual intensidad que en anteriores paroxismos el lanzamiento de materiales del Hoyo Negro. El río de lava sigue llegando al mar.

Todas las cumbres de las montañas están cubiertas de cenizas, que durante estos días, levantadas por el aire, parecen nuevos volcanes.

*Día 22 de julio.*—Se han registrado seis sismos débiles, excepto los de las tres de la madrugada, en que se produjeron dos de tres segundos de duración, con intervalo de treinta segundos, correspondientes al tercer grado de la escala de Sieberg. Uno a las 14 y otro a las 17,45, fueron en Las Manchas más perceptibles. A las 5 y a las 7, los habitantes del Valle de Aridane percibieron algún ruido. En la madrugada, y coincidiendo con los movimientos sísmicos, el cráter del Llano del Banco aumentó su erupción, lanzando al espacio la lava, que al caer, se derramaba por los terrenos de las inmediaciones.

Durante el día, disminuye mucho la intensidad de la extrusión de lava, y tanto por la falta de aportaciones, como por la menor pendiente del cauce, comienza a solidificarse la superficie del brazo norte, que cruza la carretera de El Paso, y continúa corriendo por el segundo, que corresponde al lado Sur, o de Fuencaliente. Se reconoce que la lava emerge por una fractura de unos 60 metros de longitud, poco inclinada o casi horizontal, que forma un pequeño arco en la superficie.

La chimenea del Hoyo Negro ha permanecido casi inactiva, lanzando humos de color blancocrema con escaso impulso inicial, habiendo cesado el lanzamiento de materiales sólidos.

*Día 23 de julio.*—En la madrugada se ha producido un movimiento sísmico débil, perceptible hasta en Santa Cruz de La Palma.

La erupción ha entrado en un período de decrecimiento, sin que se registren las intermitencias de caudal de los días pasados. Han cesado los lanzamientos violentos de lava en el Llano del Banco, y el Hoyo Negro casi no da señales de actividad, emitiendo, tan sólo, unos humos blancos solfatáricos.

*Día 24 de julio.*—Todos los fenómenos parece que se hallan en fase de amortiguación. No ha existido ningún movimiento sísmico.

*Día 25 de julio.*—La sismicidad ha sido nula. El cráter de San Juan, o Duraznero, parece hallarse en fase solfatárica, lanzando humos blancos sulfurosos por todas sus bocas. Se observan, en campos aislados, pequeñas manchas de azufre.

Visitado el cráter de Hoyo Negro durante una pausa del mismo, se reconocen grandes trastornos tectónicos en su interior y diversos conductos, por los que expulsa gases con escasa presión, excepto en algunos momentos, durante los cuales, en un lapso de una hora o de hora y media al día, vuelve a ofrecer mayor actividad. En el interior de su cráter se encuentran diques ígneos, que por sus relaciones geológicas con otros del Duraznero, pudieran estos últimos convertirse, fácilmente, en chimenea, a merced de los materiales ligeros de su caja.

El «malpaís», de características análogas a las de Nambroque, desprende algunas emanaciones sulfhídricas.

*Día 26 de julio.*—Hoyo Negro ha estado inactivo y el Llano del Banco ha cesado de arrojar lava a las diecisiete

de la tarde. La corriente lávica continúa ensanchándose algo en diversos sitios, y se han registrado algunos movimientos sísmicos de escasa intensidad.

*Día 27 de julio.*—Reconocida la fractura del Llano del Banco se observa que ha cesado por completo su actividad, sin que se perciban ruidos subterráneos y sin desprendimiento de fumarolas, encontrando pequeñas manchas de azufre y eflorescencias de cloruro amónico.

La sismicidad ha sido prácticamente nula y la lava se solidifica en su curso, atravesándola los peatones por varios sitios.

El Hoyo Negro permanece casi inactivo, desprendiendo humos blancos, y el Duraznero, o San Juan, se halla en idénticas condiciones.

El excelentísimo señor Ministro de la Gobernación visitó los pueblos afectados.

*Día 28 de julio.*—Reconocidas todas las bocas, puede decirse que ha cesado la actividad volcánica en su fase aguda, restando solamente las fumarolas, siendo también completa la tranquilidad sísmica.

En Hoyo Negro, cuyo cráter mide 150 m., existe un dique ígneo antiguo, de escasa potencia, que ofrece la misma dirección de las grietas abiertas en el terreno. A las 12 horas, tanto este cráter como el de Duraznero lanzaban una pequeña humareda de color casi blanco, que cesó a las 15. Por la tarde también lanzó otra solfatara el Hoyo Negro.

En el Llano del Banco, cuya fisura mide unos 60 metros, sigue consolidándose la lava.

*Día 29 de julio.*—Prosigue la tranquilidad volcánica y sísmica.

*Día 30 de julio.*—Después de tres días de una calma completa, puesto que sólo se observaban ligeras solfataras renace la erupción con una nueva fase lávica.

A primeras horas de la mañana comenzó a salir una gran cantidad de humo por los cráteres del Duraznero y Hoyo Negro, como en los días en que se hallaron en mayor actividad. A las 10,30 se hallaba el fenómeno en plena intensidad, lanzando lapilli y escorias de tamaño pequeño cenizas que han cubierto, en los pinares de El Paso, una extensión de unos cuatro kilómetros cuadrados, con un espesor medio de unos dos centímetros. A la hora y media sea a las 12, comenzó el Duraznero o San Juan a arrojar lava, muy fluida y de idéntico aspecto que la del Llano del Banco. Rellenó una cubeta de lava antigua, ligeramente cóncava, hasta lograr la altura suficiente para romper el borde, precipitándose, entonces, torrencialmente hacia la costa oriental por el barranco de La Jurada, del término municipal de Mazo, entre los pagos o poblados de Tirigüga y Tigalate y descendiendo, con ello, el nivel de la lava en el embalse unos dos metros. Continuó a gran velocidad y se temió que una bifurcación alcanzase el taller de herrería de Pérez Guerra, situado en los primeros metros del Km. 17 de la carretera. Poco después quedaba cortada la vía de comunicación en los últimos metros del Km. 17, como el camino vecinal de Hoyo de Mazo, anegando un pequeño puente, con lo cual la zona de Fuencaliente queda aislada, para el tráfico rodado, con el resto de la isla. La corriente se detuvo poco antes de llegar al mar. La lava afectó a una vivienda rústica y no ha causado mayores daños. Su ancho medio puede estimarse de unos veintidós metros.

A última hora de la tarde decreció la erupción y terminó totalmente a las 23 horas. Reconocida la zona del cráter

se advierte que se han formado nuevas y grandes grietas de la misma dirección que las anteriores, enlazando, según parece, la totalidad de los cráteres del Duraznero con Hoyo Negro. La extrusión contenía bastante cantidad de gas sulfuroso.

Se ha derrumbado gran parte del Hoyo Negro, como consecuencia de su actividad volcánica pasada.

Los movimientos sísmicos precursores de esta nueva erupción han sido poco perceptibles en la zona de El Paso, y, parece ser, que han sido algo más intensos en Santa Cruz de la Palma.

*Día 31 de julio.*—Continúan las fumarolas en todos los cráteres, incluso en el Duraznero o San Juan, donde se ha reconocido un hundimiento que parece prolongación de la fractura del Llano del Banco. Las bocas están cegadas por lava solidificada y hoy puede cruzarse andando la de la colada de ayer.

*Día 1 de agosto.*—El Duraznero sigue con pequeñas fumarolas y la normalidad es casi absoluta. La visibilidad no es buena a causa de una neblina producida por el calor.

*Día 2 de agosto.*—Prosigue la normalidad. El Hoyo Negro ofrece pequeñísimas salidas de gases ricos en anhídrido sulfuroso y lo mismo el Duraznero. Se establece la comunicación rodada, interrumpida a causa de la última corrida de lava, por el camino vecinal de Hoyo de Mazo más próximo al mar.

*Día 3 de agosto.*—Siguen las fumarolas débilmente, tanto en Hoyo Negro como en el Duraznero. En la corrida de lava de Las Manchas se observan pequeñas salidas de

gases y vapores, espaciadas 40 ó 50 metros, existiendo manchitas de eflorescencias salinas en algunos puntos.

*Día 4 de agosto.*—Prosigue la normalidad.

*Días 5 y 6 de agosto.*—Continúan decreciendo notablemente las exhalaciones gaseosas de Hoyo Negro y Duraznero, las cuales contienen gran cantidad de vapor de agua, que se condensa en los recipientes de toma de muestras.

Se producen grietas de contracción a causa del enfriamiento superficial de la lava, con tenues ruidos. Hoy ha comenzado la construcción de una pista, para el tráfico rodado sobre la lava de la carretera del Sur, en el Km. 43.

En vista de que se restablece la normalidad, damos por terminado este diario del volcán.

## V. LA ERUPCIÓN

Quedan registrados en el Diario del volcán, los episodios más importantes acaecidos desde el día 24 de junio, en que comenzó, hasta el 30 de julio en que ha entrado en una fase francamente postvulcánica, por lo cual, sólo consignaremos en este capítulo las consecuencias que se derivan de las observaciones realizadas, y los detalles que hemos adquirido con posterioridad.

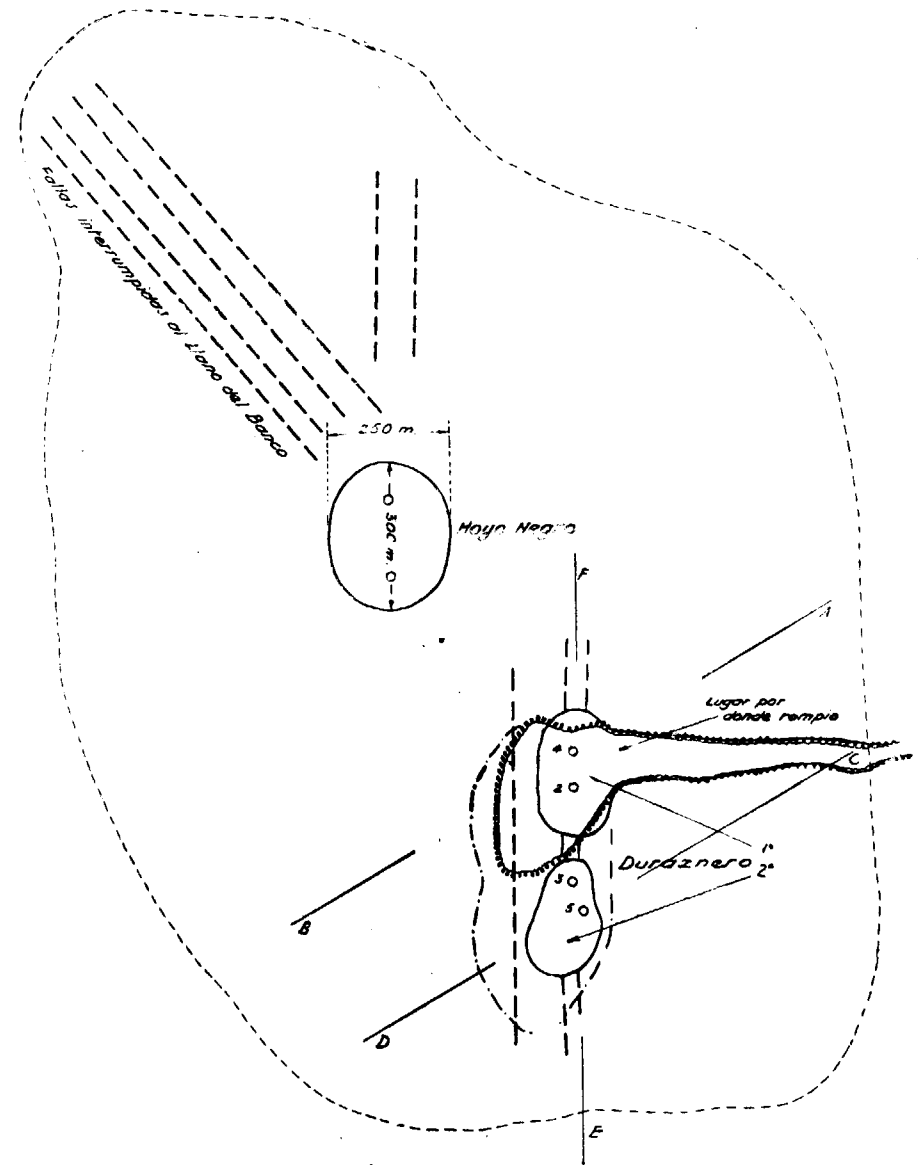
### 1) El Duraznero o San Juan

Ha sido el primero en nacer y el último en extinguirse. Los testigos oculares manifiestan que a las 8,30 de la mañana del 24 de junio se produjo la incipiente explosión, seguida de alguna salida de humo y que a las 10,30 la columna era mayor y más densa, siendo a las 11 contemplada por numeroso gentío desde El Paso. El lugar de la ocurrencia se halla situado (véase el mapa al final de la Memoria, con la salvedad de que no es todo lo exacto que sería de desear) en una concavidad que existe entre las montañas de Los Lajiones y El Duraznero (que algunos palmeros denominan también Durazno), en los alrededores del Nambroque, y cerca de la Degollada (collado) de los

Pailones. Se halla emplazado a una altitud de unos 1.800 metros (\*), y a una distancia, por camino, de El Paso, de unos nueve kilómetros, ciudad que adoptamos como centro de operaciones, por sus mejores medios de comunicación con el volcán. Toda esta zona montañosa se halla formada por cráteres desmantelados y erosionados, siendo en ella muy abundante el «lapilli» volcánico del tamaño de una arena gruesa, hasta de un centímetro, pero con polvo y también con fragmentos mayores, que denominan «picón» en las islas del archipiélago. Tales restos de conos de cenizas y piedrecillas de volcanes antiguos son visibles en muchas de las fotografías que acompañamos. Entre este paisaje cubierto de bellos pinares, sobresalen el pico del Bidigoyo y los Roques de Nambroque, con altitudes notables entre todo el sistema orogénico de la isla, correspondiendo la primacía al Roque de los Muchachos, con 2.356 metros, y como uno de los gigantes que delimitan la célebre Caldera de Taburiente. El Bidigoyo, como el Nambroque, son también veteranos testigos del antiguo vulcanismo, por todo lo cual cabe considerar al volcán actual, como un paroxismo de otro que se creía extinguido y que ha resultado no ser sino durmiente, de lo que existen numerosos ejemplos en vulcanología. En conjunto, puede decirse que ha sido una erupción del Nambroque, con apertura de los cráteres del Duraznero o San Juan y del Hoyo Negro, pero que también ha producido una fractura de flanco en el Bidigoyo: la del Llano del Banco.

La erupción fué precedida y acompañada de movimientos sísmicos, de escasa intensidad en los pueblos comar-

(\*) En vista de que existe alguna discrepancia en las altitudes señaladas en los mapas que acompañamos, nos atenemos a nuestras observaciones barométricas.



#### SIGNOS CONVENCIONALES

- — — Secciones transversales.
- — — Fallas.
- ~~~~~ Zona cubierta por la lava del Duraznero.
- - - - Zona cubierta por trozos de rocas y escorias del Duraznero.
- · · · · Zona donde la altura del polvo de Hoyo Negro alcanzó más de 20 centímetros.

Fig. 1.—Estado de los cráteres después de la erupción.

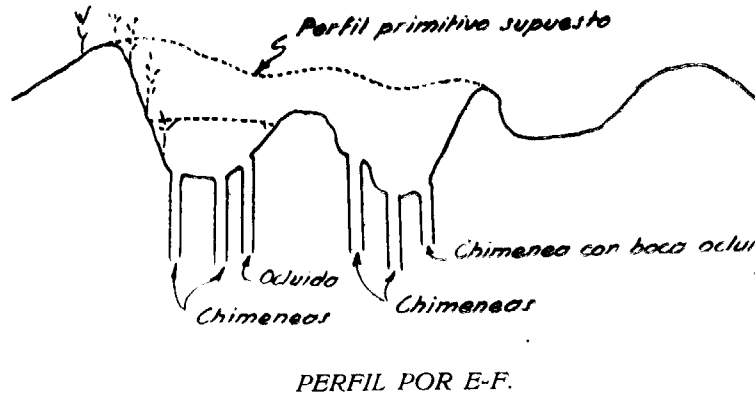
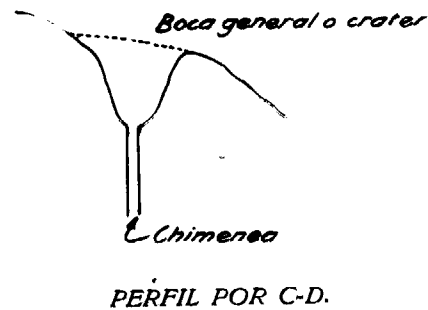
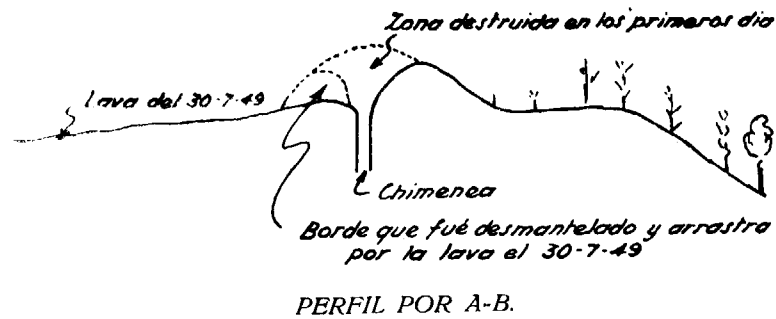


Fig. 1 a.—Croquis de secciones transversales del Duraznero en la figura 1.

canos. La boca primitiva, según nos han manifestado, debía tener unos 20 metros de diámetro, y a los tres días se produjo la apertura de la número 2 (fig. 1), que es la que adquiere mayor actividad, precedida de sismos más intensos. Parece deducirse que la número 1 había quedado obstruida, y que a los gases les fué más fácil labrarse una nueva salida, próxima a la primera, en una fisura. La situación continuó estacionaria con lanzamiento de cenizas, rocas de la caja, algunas incandescentes, hasta que a los ocho días (2 de julio), se producen los movimientos sísmicos más intensos que se han registrado en todo el período volcánico, desde su nacimiento hasta su extinción, en la parte occidental de la zona. Como consecuencia, se abre una nueva grieta en el terreno, en la montaña denominada Los Morenos, situada a unos 400 metros del cráter primitivo, que debe ser una de tantas de las que allí se han producido. A los once días, unas nuevas bocas, la número 3 y la número 4, entran en actividad, mientras que las otras amenguan, y a los doce días se produce la apertura de la boca número 5, que lanza las cenizas, mientras que las otras extrusan sólo humos blancos con escasa intensidad. Al día siguiente, fué mayor el lanzamiento de escorias y de piedras incandescentes, dando lugar a su visibilidad nocturna. Durante el primer día (6 de julio) debió extrusar materiales sólidos, poco calientes, acompañados de gases, pero al segundo aparecieron algunos incandescentes que produjeron el incendio de un pinar próximo. Es de advertir, que en los efectos luminosos nocturnos, no han dejado de tener influencia los incendios de los pinares, pues durante una noche, a las tres de la madrugada, que observábamos el fenómeno en Hoyo Negro con los gemelos de campo, nos era difícil cerciorarnos de que no se había presentado la lava, y era que ardía un pinar.

La figura n.º 2 nos ofrece una vista completa de estos dos cráteres del Duraznero, y un poco más alejado, las nubes de cenizas del Hoyo Negro, del que después hablaremos. En el Duraznero se han establecido dos cráteres, que contienen las chimeneas o bocas vulcánicas, cráteres que, para distinguirlos, denominaremos Duraznero 1.º y Duraznero 2.º, según el orden cronológico con que han aparecido. En las figuras 3 y 4 se observa el cráter del Duraznero 1.º, hallándose el 2.º al SO. de las fotografías, pero sin aparecer en ellas. En la figura 5 aparecen también ambos cráteres, observándose bien la diferencia de nivel que entre ellos existe. La figura 6 nos muestra la vista aérea del Duraznero, cuyo detalle nos ofrece la fig. 7 y cuyo interior puede verse en la fig. 8 y en la fig. 9, en la que aparece un tapizado de azufre. La chimenea en esta fotografía, que no resulta visible porque la oculta la lava arrojada, que se observa en primer término, tiene unos dos metros de diámetro, y en el día de la obtención de la fotografía (5 de agosto) desprendía bastante cantidad de anhídrido sulfuroso con vapor de agua. En el fondo se encontraba la lava fundida con color rojo oscuro. La fig. 10 muestra otro aspecto de una de estas bocas o chimeneas, y la fig. 11 otro detalle de las mismas.

El 28 de junio y el 6 y 7 de julio fueron aún más intensos los fenómenos luminosos, debidos a las piedras, bombas y escorias lanzadas al rojo vivo, todo lo cual parecía indicar la proximidad de la lava, ya que aquéllos fueron, sucesivamente, en aumento. Singularmente, en el día 7 los ruidos subterráneos en las proximidades de las bocas ignívolas cambiaron de tono y de intensidad, asemejándose ahora a los de grandes calderas en ebullición. No solamente había aumentado la frecuencia de la onda sonora, sino también su amplitud. Ya sabemos que el día 8 brotó,

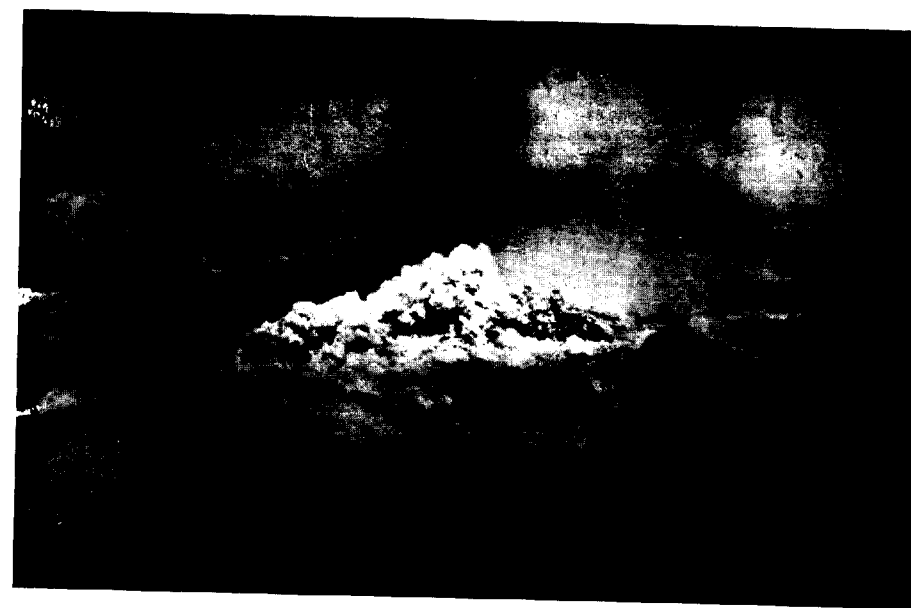


Fig. 2. —Panorama de los cráteres de Duraznero (en primer término, depresión en la cúspide de la izquierda, Duraznero 2.º; un poco más bajo, a la derecha, con una fumarola pequeña, en blanco, Duraznero 1.º) y, más lejos, las nubes de cenizas del Hoyo Negro, que nublan el cielo al NO. de la foto.

Foto Aviación Militar. 20-VII-49.



Fig. 3. —Las dos bocas del Duraznero 1.º; por la parte O. (en negro), desbordó después la lava. Obsérvese la estratificación de las coladas antiguas.

Foto Aviación Militar. 28-VI-49.





Fig. 2.—Panorama de los cráteres de Duraznero (en primer término, depresión en la cúspide de la izquierda, Duraznero 2.º; un poco más bajo, a la derecha, con una fumarola pequeña, en blanco, Duraznero 1.º) y, más lejos, las nubes de cenizas del Hoyo Negro, que nublan el cielo al NO. de la foto.

Foto Aviación Militar. 20-VII-49.



Fig. 3.—Las dos bocas del Duraznero 1.º; por la parte O. (en negro), desbordó después la lava. Obsérvese la estratificación de las coladas antiguas.

Foto Aviación Militar. 28-VI-49.

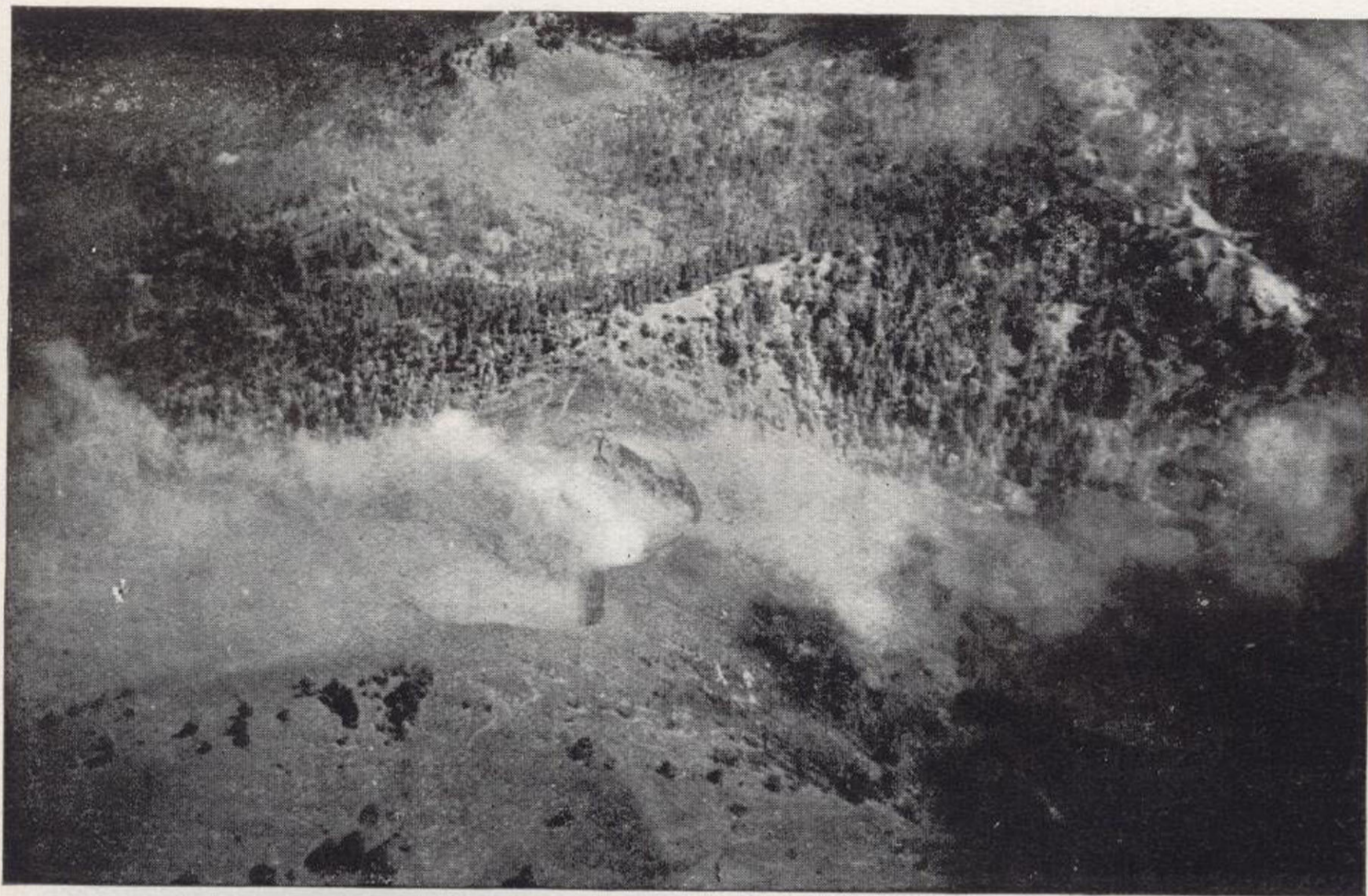


Fig. 4.—Cráter del Duraznero 1.º; el Duraznero 2.º se estableció al SO. de la foto. La lava vertió por el SE. Grietas en primer término y pasado el cráter.

Foto Aviación Militar. 28 VI-49.

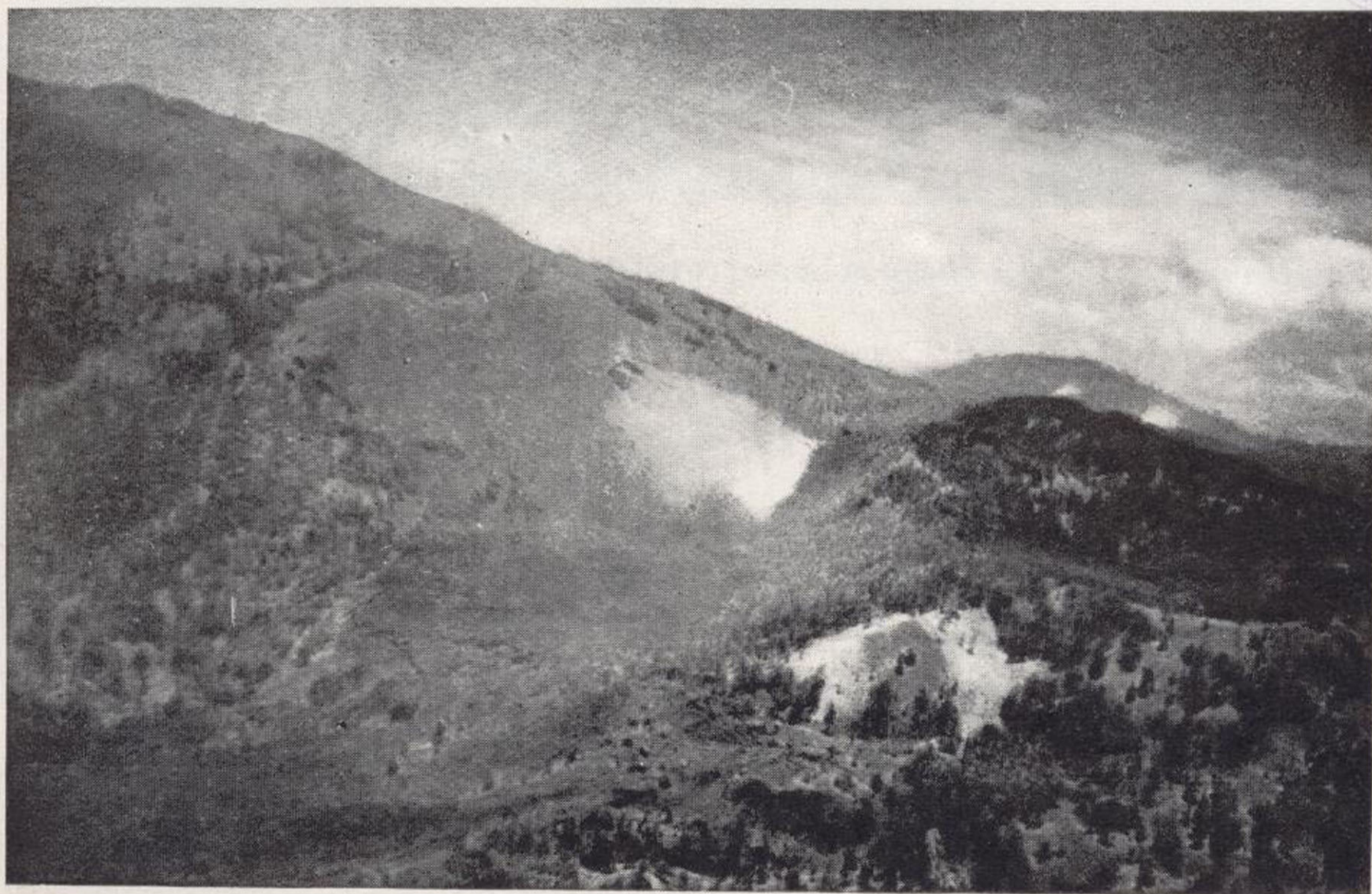


Fig. 5.—Cráter del Duraznero 1.º, hacia el fondo del barranco. Cráter del Duraznero 2.º, a media ladera, en la foto. En primer término: los Topos de Nambroque.

Foto Aviación Militar. 30-VI-49.

LA ERUPCIÓN DEL NAMBROQUE



Fig. 6.—Los cráteres del Duraznero, tomados desde el E. de la foto anterior.

Foto Aviación Militar. 30-VI-49.



inesperadamente, la lava en el Llano del Banco, a casi tres kilómetros en línea recta del Duraznero, en cuyo día cesó éste en su actividad, limitada, hasta el día 29 de julio inclusive, a la exhalación de gases y vapores.

Durante la primera etapa de esta erupción se han registrado los movimientos sísmicos más importantes, singularmente los del 2 de julio, como hemos dicho, pero precisamente en los días en que ha sido más intenso el lanzamiento de proyectiles incandescentes, es cuando más imperceptibles fueron los terremotos en los pueblos del contorno. Esta circunstancia obliga a investigar, como veremos, la causa en profundidad de los fenómenos.

Después de 22 días de calma, en período fumarólico, un sismo vulcánico poco intenso, del día 30 de julio, debió provocar la salida de un pequeño depósito de lava.

La erupción lávica tuvo lugar por el cráter que hemos denominado Duraznero I.º (fig. 1 y 1 a), con dos chimeneas visibles y una obturada. La lava quedó embalsada y acabó por derribar el borde oriental del cráter, limitándose tal efusión a la efímera duración de medio día, durante el cual la arrojó con fragmentos sólidos, siendo escasa la proporción de lava flúida. Todo ello se encauzó en una depresión del terreno y descendió por el barranco Jurado, o de la Jurada, del término de Mazo, con una pendiente media de 29 % y con un recorrido total de unos cinco kilómetros (mapa al final del informe).

En su marcha cortó la carretera a Santa Cruz de la Palma en el kilómetro 17 (Km. 21 en el mapa), donde alcanzó una altura de 1,50 metros (fig. 13), aproximadamente, con una anchura de unos 40 metros en esta zona, según revela la fig. 12. Pasó por debajo del puente que ésta poseía para salvar el barranco, pero terminó rebasándole y destruyéndole. En la fotografía se ve a los peatones cru-

zando sobre la colada, para efectuar el transbordo de autobuses, a las 36 horas de haber cesado la erupción. Claro es que en la superficie se percibía una temperatura algo alta.

La corrida lávica siguió su carrera hacia el mar, deteniéndose a unos 30 metros antes de llegar a él. En ella predominan cantos voluminosos de 40 ó 50 cm., poco cementados, sin llegar a constituir una brecha vulcánica, habiendo arrastrado también los cantos sueltos que a su paso encontraba en la superficie del terreno, como la morrena frontal de un glaciar. La efusión lávica duró 11 horas, de manera que la velocidad media fué de 0,454 Km. por hora o sea 7,58 metros por minuto. La anchura media de la corrida puede estimarse en unos 20 metros, y su espesor también medio, en cuatro metros. Se deduce, por tanto que la cantidad total de materiales sólidos y lávicos extrudados es de unos 400.000 metros cúbicos (volumen aparente) y el gasto medio puede calcularse en 60,6 metros cúbicos por minuto.

Pasado dicho día, las bocas del Duraznero entraron en un período solfatárico, que ha sido el predominante en esta erupción. Su período activo y agudo duró 37 días, y de contando el primero y los tres días de mayor energía, como fenómenos luminosos, así como el de efusión de la lava puede decirse que 32 días ha estado sin emitir más que gases y vapores blancos, con una gran cantidad de vapor de agua. Considerando, en conjunto, los fenómenos vulcánicos de la isla, puede decirse que ésta ha sido la chimenea por donde ha exhalado los gases y vapores del magma pues las restantes bocas han lanzado erupciones más secas.

El día 5 de agosto, desde el borde más alto del volcán por su parte norte, se observan dos bocas exhalando f

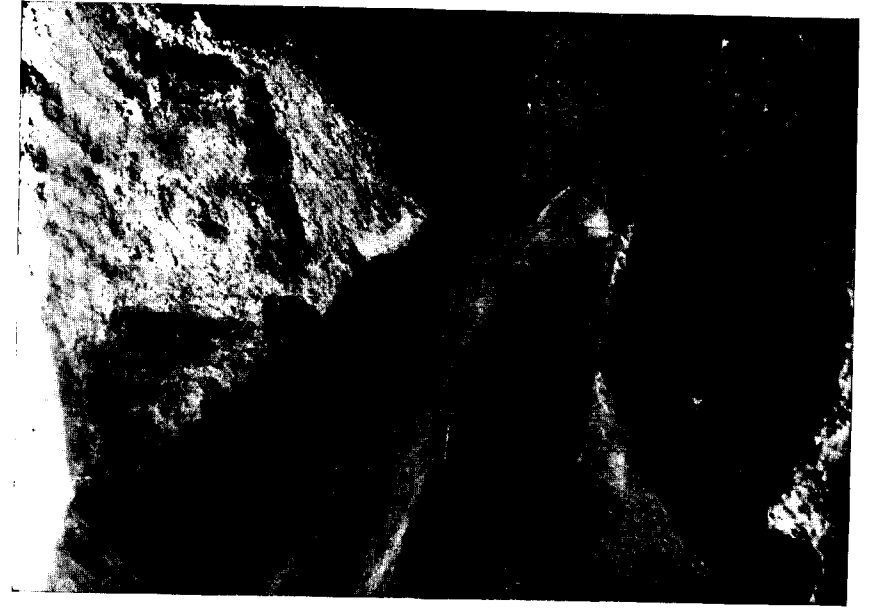


Fig. 8.—Interior del cráter de la fig. 7. A la izquierda y derecha, las laderas del cono, y en el fondo tres chimeneas, una en el centro, otra en el ángulo SO. de la foto, que mostraba la lava fundida, y otra en la parte oscura del Este.



Fig. 7.—Cráter del Duraznero en fase solfatárica. Obsérvese la estratificación de las erupciones antiguas.

Foto Zenón.



Fig. 7.—Cráter del Duraznero en fase solfatárica. Obsérvese la estratificación de las erupciones antiguas.

Foto Zenón.



Fig. 8.—Interior del cráter de la fig. 7. A la izquierda y derecha, las laderas del cono, y en el fondo tres chimeneas, una en el centro, otra en el ángulo S.O. de la foto, que mostraba la lava fundida, y otra en la parte oscura del Este.





Fig. 9.—Interior del cráter del Duraznero 1.º; en primer término lava arrojada. A la izquierda una gran grieta.

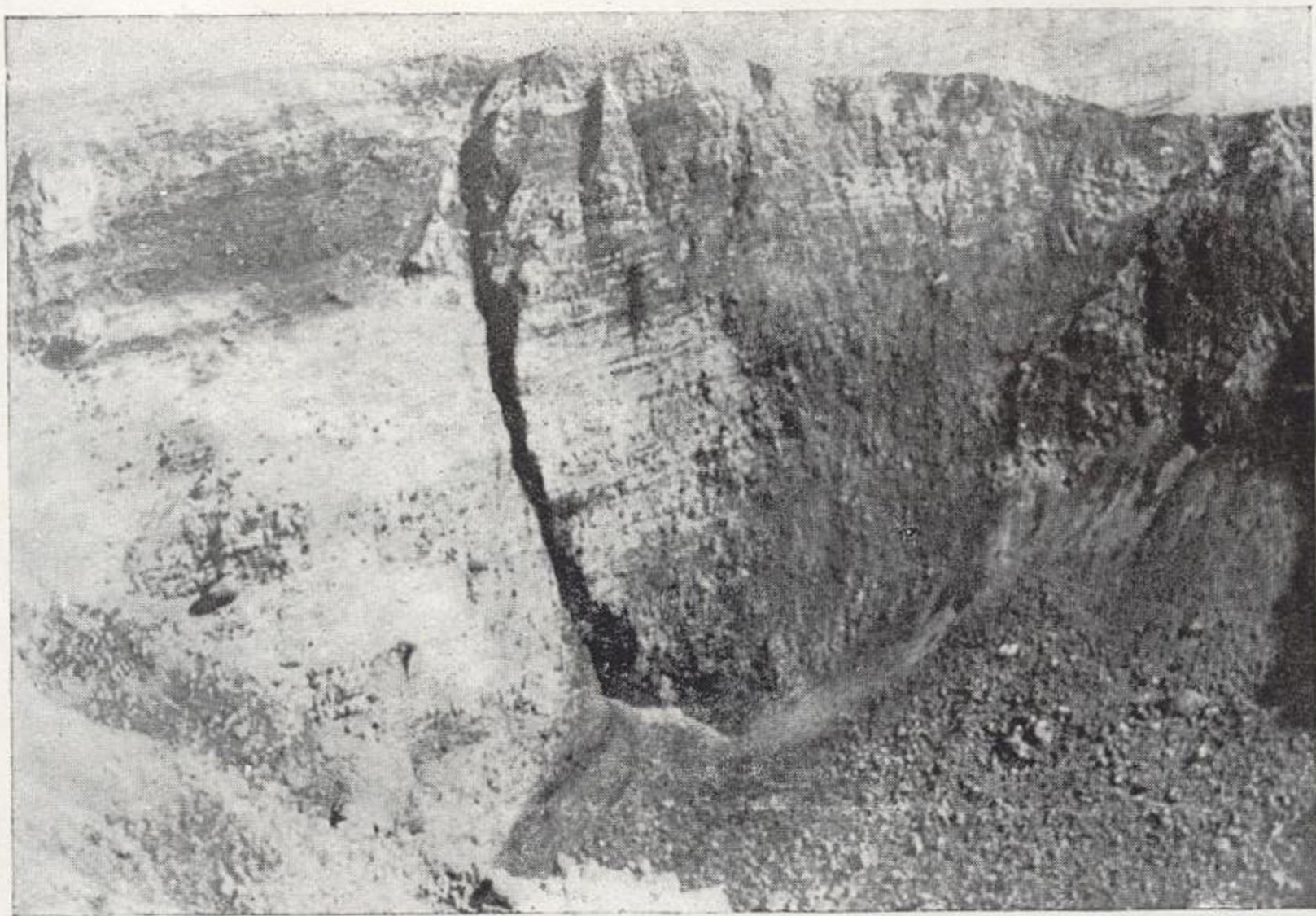


Fig. 10. — Interior del cráter del Duraznero 1.º, con una de las chimeneas en el fondo. En blanco, tapizado de azufre sublimado.



Fig. 11.—Bocas del Duraznero.

Foto Benítez.

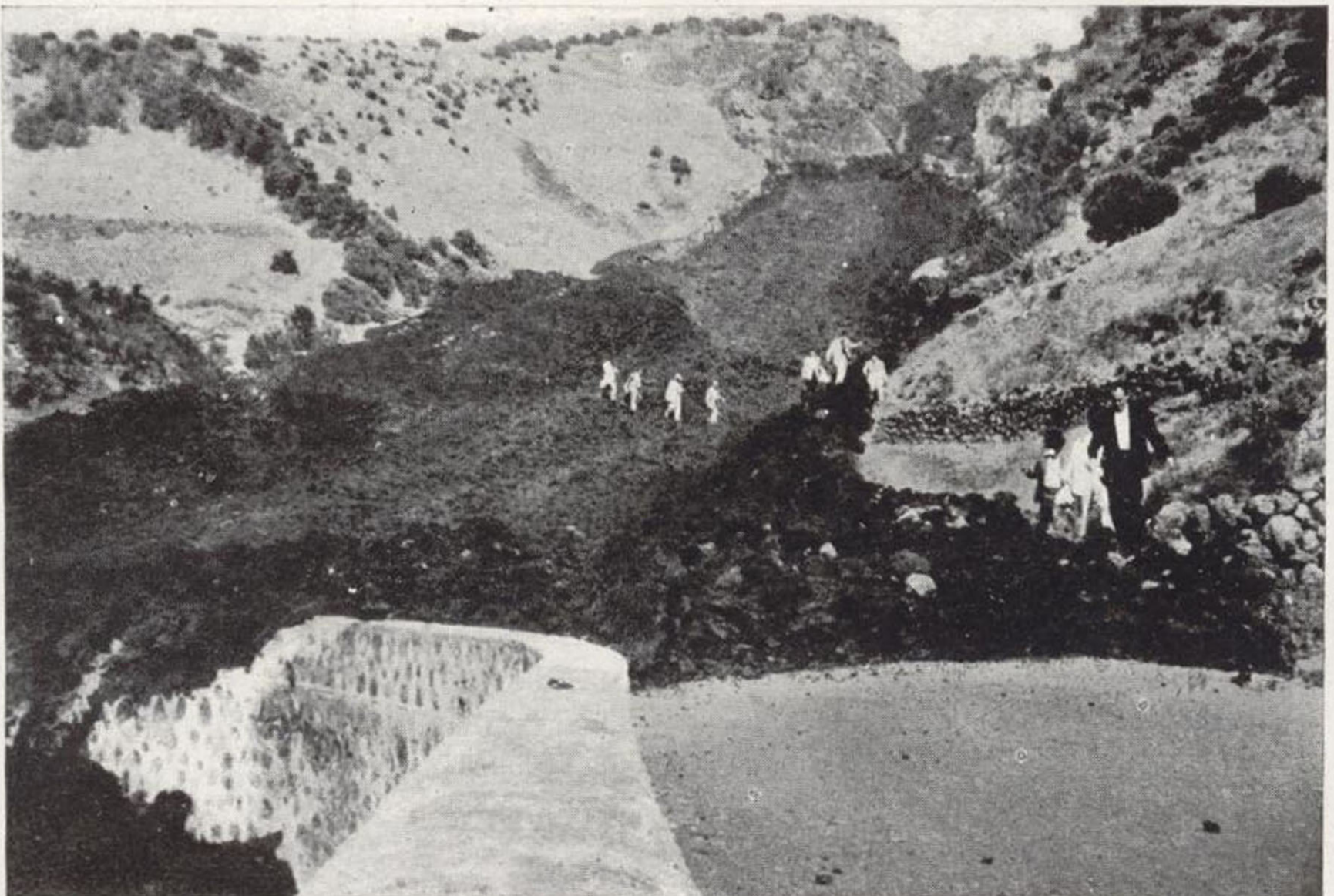


Fig. 12.—Lava del Duraznero, que rebasó el puente de la carretera, descendiendo por el barranco Jurado o de la Jurada.



marolas. Anteriormente existían tres cráteres que actualmente, por haber sido volados los terrenos superiores, han quedado reducidos a uno grande, donde se hallan instaladas las dos bocas por las cuales ha extrusado la lava (bocas 2 y 4 de la fig. 1). Existen dos fallas, una de las cuales, la más importante, se dirige hacia las otras bocas situadas más al sur del propio Duraznero, o sea el Duraznero 2.º. Por desmantelamiento del terreno, ha quedado aquí medio anfiteatro.

La acción destructora, por las proyecciones sólidas, de este cráter, ha sido muy inferior a la de Hoyo Negro, como puede estimarse comparando el estado en que han quedado los árboles más próximos a dichos cráteres, teniendo en cuenta que los más próximos a Hoyo Negro han desaparecido.

Dentro de lo que pudiéramos denominar cráter, el terreno presenta las dos chimeneas actuales desprendiendo vapor de agua y gas sulfuroso (blanco), con un pequeño depósito de azufre sublimado en los bordes de una fisura, además de la corrida de lava. Por la grieta del azufre el gas era muy rico en vapor de agua, que se condensaba abundantemente en los aparatos de toma de muestras.

Una boca ignívoma, la n.º 4, tenía unos dos metros de diámetro en la parte alta y unos 60 cm. en la parte baja, con una profundidad de unos tres metros. Estaba aún la lava al rojo, que encendía en seguida trozos de madera y sobre la que flotaban las piedras pequeñas arrojadas, las cuales llegaban a ponerse rojas por el baño de lava, pero que, como es natural, no llegaban a fundirse.

La otra boca n.º 2, tenía unos 6 m. de largo, dos de ancho y unos tres metros de profundidad. En su fondo, de 40 por 50 cm., también presentaba la lava enrojecida.

Dediquemos ahora unas palabras a las otras tres bocas

del Duraznero situadas más al Sur, cuyos bordes de depresión distan unos 50 m. del de las anteriores. Una de ellas ha desaparecido. En primer término, existía una grieta de unos 5 m. de largo por uno de ancho y de unos 50 cm. de profundidad, en cuya parte central se veía lava enrojecida. También existía otra boca que en su mayor diámetro medía cinco metros por cuatro o cinco de profundidad y en forma de embudo, cuyo fondo se hallaba igualmente al rojo, pero en una superficie muy pequeña, de unos 30 centímetros. Un poco más adelante existe otro embudo de 5 m. de diámetro, que se halla obturado por los derrubios de la ladera del cono. La tercera boca debía hallarse más alejada, a borde de una ladera antigua volcánica, algo derrubida por las acciones dinámicas del vulcanismo actual.

El cráter que arrojó la lava forma un anfiteatro de unos 350 metros en la parte externa y unos 250 en el fondo. Las bocas del Sur están muy próximas a las del Norte, que son las que han desmantelado un flanco, pues subiendo hasta la última grada del anfiteatro y caminando unos 50 metros se comienza a descender hacia la caldera de las otras.

## 2) La fisura del Llano del Banco

Dicho queda, que a los catorce días de actividad del Duraznero, y cuando parecía que anunciaba la salida de lava, después de una gran expulsión de sus gases y vapores, el día 8 de julio, sin movimientos sísmicos intensos, toda vez que no produjeron destrucciones, aunque fueran perceptibles hacia Las Manchas, Jedey y Puerto Nao principalmente; sin anuncio previo de fumarolas con cenizas, surge al exterior la lava, después de una pequeña explosión, por una fisura situada casi a tres kilómetros

del Duraznero, en dirección NO., y a unos 500 metros más baja que las bocas ignífugas de aquél, emplazada en un pendiente barranquillo del Llano del Banco. Con ello, se marca una nueva etapa del vulcanismo: el período lávico, que duró 19 días.

Cesó en seguida la actividad del Duraznero, el cual entra en un débil período solfatárico de 22 días de duración, tras de los cuales se produce la erupción de su lava del día 30, que hemos considerado anteriormente.

Es notable la repentina efusión lávica del nuevo cráter. Una pequeña explosión y aparece el «malpaís». Añadamos, ahora, que el fenómeno tal vez hubiera podido ser pronosticado, pues según noticias recibidas, el pinar de la Magdalena, en que se hallaba enclavada la Cueva del Fuego —nombre que no deja de ser precursor— del Llano del Banco, en la ladera de un monte contigua a un barranco de gran pendiente, que es por donde se verificó la erupción; venía secándose desde hace dos años, y ya hemos dicho en el Diario la preferencia que sentía el ganado por esta pequeña cueva, que le servía de aprisco, atraído por una templada temperatura. De haber tenido conocimiento de estos hechos coincidentes, hubiéramos podido observar el grado geotérmico, pues en esta zona volcánica hay que deponer algo la idea que tenemos acerca de la mala conductibilidad de las rocas, ya que se trata, a mi juicio, de formaciones geológicas porosas, de estrato-volcanes, en los que alternan capas de «malpaís» con mantos de lava de escasa potencia, fisurados y fragmentados, que son permeables al aire, hasta alguna profundidad, y aquél puede penetrar por las laderas y oquedades. Toda esta formación se halla cubierta con materiales sueltos, bastante diatérmicos. Ahora bien, el basalto tiene mayor coeficiente de conductibilidad calorífica (0,0004) que el

aire (0,0005), de manera, que este aire, diseminado en una considerable extensión, sirve como envolvente protectora de la radiación calorífica interna, regulando, así, la temperatura en profundidad, hasta un cierto límite de ésta, como es natural. Con unos pocos sondeos de escasa profundidad, se hubiese podido estudiar el incremento del grado geotérmico, y disponiendo de una buena cartografía, hubiese sido posible trazar las curvas isotermas y estar preparados para cuando la erupción se presentase. Es de desear, que esto nos sirva de enseñanza para lo futuro.

La nueva boca consiste en una fisura de unos 60 metros de longitud, emplazada en la Magdalena, casi paralela al barranco que corre en su proximidad al Este, y que desciende en dirección hacia el SO., para luego torcer hacia el Oeste. Debía ser una pequeña cueva de erosión, labrada por las precipitaciones atmosféricas, en el propio barranco, en la que había un techo formado por algún manto de basalto más resistente, sobre el cual reposaban en forma estratificada y poco inclinada las sucesivas coladas del antiguo volcán que constituye la montaña. Se supone que entró en actividad a las 4,30 o a las cinco de la mañana, con una pequeña explosión, y el hecho cierto es que a las siete vomitaba una gran masa de «malpaís». Hora es ya de que expresemos el significado de este vocablo, con el que los pobladores del archipiélago canario, como los de algunas regiones volcánicas americanas, que lo heredaron de los españoles, designan a un tipo peculiar de erupción, que suele ser heraldo anunciador de la corriente lávica líquida. Se halla aquélla constituida por fragmentos angulosos, que la extrusión arranca a las formaciones anteriores, y que varían desde el polvo volcánico hasta bloques de 30 y 40 centímetros y aun mayores, los cuales aparecen unas veces revueltos con la lava, otras sólo barnizados y, en ocasiones



Fig. 13.—Lava del Duraznero en el puente de la carretera del S., cuyo pretil rebasa por el Oeste.

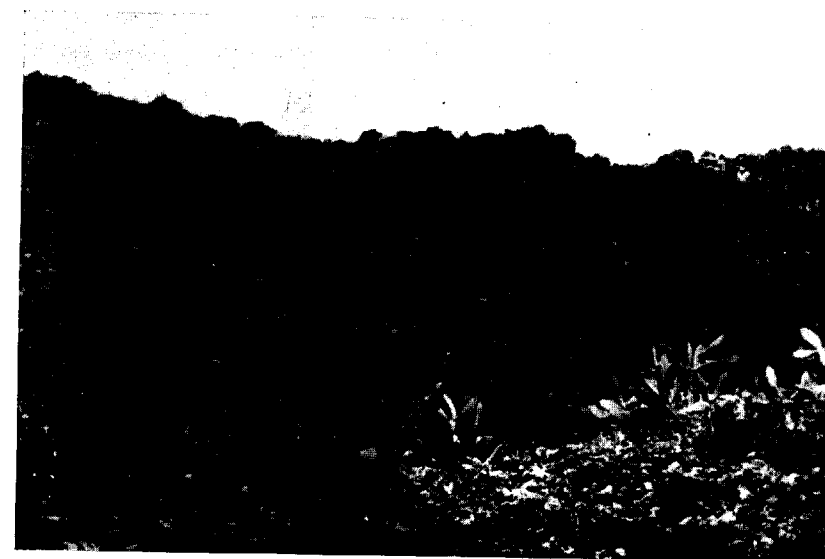


Fig. 14.—Malpaís procedente del cráter del Llano del Banco, en su cruce con la carretera, situada inmediatamente al E. de la foto.



Fig. 13.—Lava del Duraznero en el puente de la carretera del S., cuyo pretil rebasa por el Oeste.



Fig. 14.—Malpaís procedente del cráter del Llano del Banco, en su cruce con la carretera, situada inmediatamente al E. de la foto.



frecuentes, completamente libres de ella y arrastrados mecánicamente, dejando entre sí importantes huecos. Constituye, por tanto, una especie de hormigón, mal batido, de grandes cantos angulosos, que en período de fusión avanza no tan lentamente como a primera vista parece, según luego veremos, y que constituye el primer lecho tendido en el suelo, sobre el cual corre, después, la lava flúida. Ésta, al solidificarse, como desprende los gases y vapores que contiene en su seno, produce «hornitos», cráteres secundarios que son volcanes en miniatura. El resultado final es que queda un suelo áspero, arisco para el pie del hombre y del ganado, que bien merece el nombre de «malpaís», aun cuando con el transcurso del tiempo, de varios siglos, cuando la disyunción progresa merced a los agentes atmosféricos, y la descomposición se acentúa, dan suelos fértiles y esponjosos de un «excelente país».

En la fig. 14 puede verse el manto primitivo de malpaís que cruza la carretera, visto desde el Norte, y cuya altura puede cifrarse en unos cinco metros. Sigue extendiéndose hacia el mar, como revela la fig. 15, con apariencia de una negra escombrera. Como hemos dicho, sobre este campo detrítico, más o menos amasado con lava, se instala la corriente de esta última, que en los primeros días arrastraba también materiales sólidos, tratando de refundirlos y desprendiendo vapores, visibles en dicha fig. 15 de la zona de la carretera. Entre el primer muro y el segundo, más alto, corre otra bifurcación del río de lava, con su halo blanco de vapor de agua.

En las figs. 16 y 17 puede observarse la fisura de donde surgió la lava, ya que se hallan tomadas tales fotografías desde uno y otro lado del barranco. Por verse encajada en dicho barranco y obligada a seguir sus inflexiones, bifurcándose a veces, hizo su primer recorrido, visible en las fi-

guras 17 y 18, por un terreno con pendiente media 63,5 %, según revela el perfil transversal de la trayecto seguida, que representa la fig. 19. Continuó descendiendo por una pendiente media de 14,2 %, y a las 14,15 horas presentaba en la carretera general del Sur como un ofi ondulante y monstruoso. Admitiendo que comenzase salir a las 4,30 de la mañana, según noticias veraces, velocidad media fué de 6 metros por minuto, aproximadamente, habiendo recorrido unos 3.500 metros en 9 horas 45 minutos, con una pendiente media de 19,7 %. Con carretera cortada, la isla quedaba partida en dos trozos. Allí estaban los alcaldes de los pueblos cercanos, allí cernía una triste interrogante para el futuro, pero con ánimo sereno y elevando el corazón a la altura del momento, cuando la lava cerraba el paso, los alcaldes de las dos zonas se dieron la mano en señal de despedida. En las figs. 20 y 21 puede observarse dicho recorrido.

La lava siguió su curso, ensanchó su frente, moderó su marcha, formó un embalse hacia Cuatro Caminos, sembrando inquietudes, arrasó cultivos, destruyó casas y vertió cenizas al mar el día 10 a las 19,30, por un pequeño escarpe de unos 4 ó 5 metros de altura. En él se debatían las olas. Invertió, por tanto, 57 horas y 45 minutos en este segundo recorrido de unos 4 Km., lo que arroja una velocidad media de 1,15 m. por minuto, descendiendo en dicho intervalo desde la cota 610 al nivel del mar, con una pendiente media de 16 %. Su trayectoria total del cráter al mar, teniendo en cuenta la configuración del terreno, es de unos 7,5 Km., el desnivel 1.300 metros, y la duración total 53 horas 15 minutos. Resulta, por tanto, una velocidad media de 2,35 m. por minuto, con una pendiente media de 17,35 %.

El río lávico serpenteó ciñéndose a las anfractuosi-

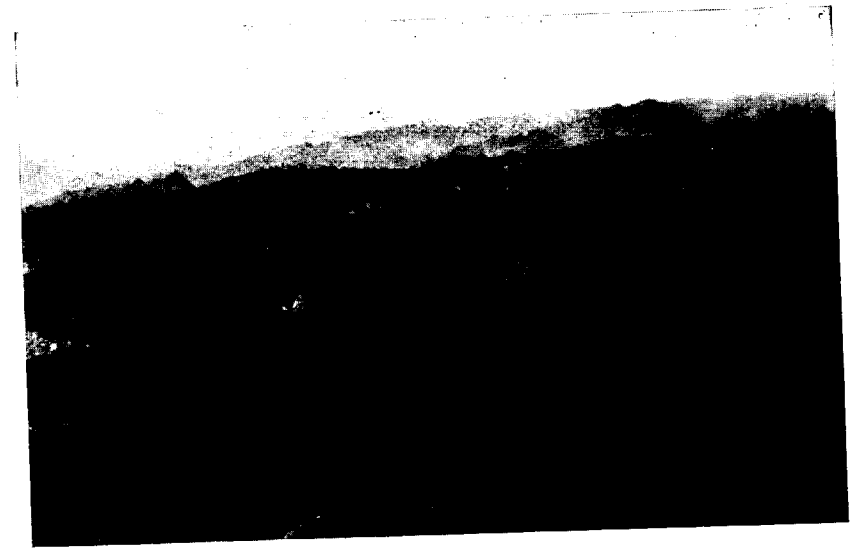


Fig. 15. Corrida de malpaís del Llano del Banco en la zona de la carretera, encauzando el río de lava que arrastra materiales sólidos (negro en la foto). Detrás, en segundo término, una aureola clara de vapor de agua indica que por allí corre otro ramal del río lávico.



Fig. 16.—Cráter del Llano del Banco con extrusión lávica, desde el lado Oeste

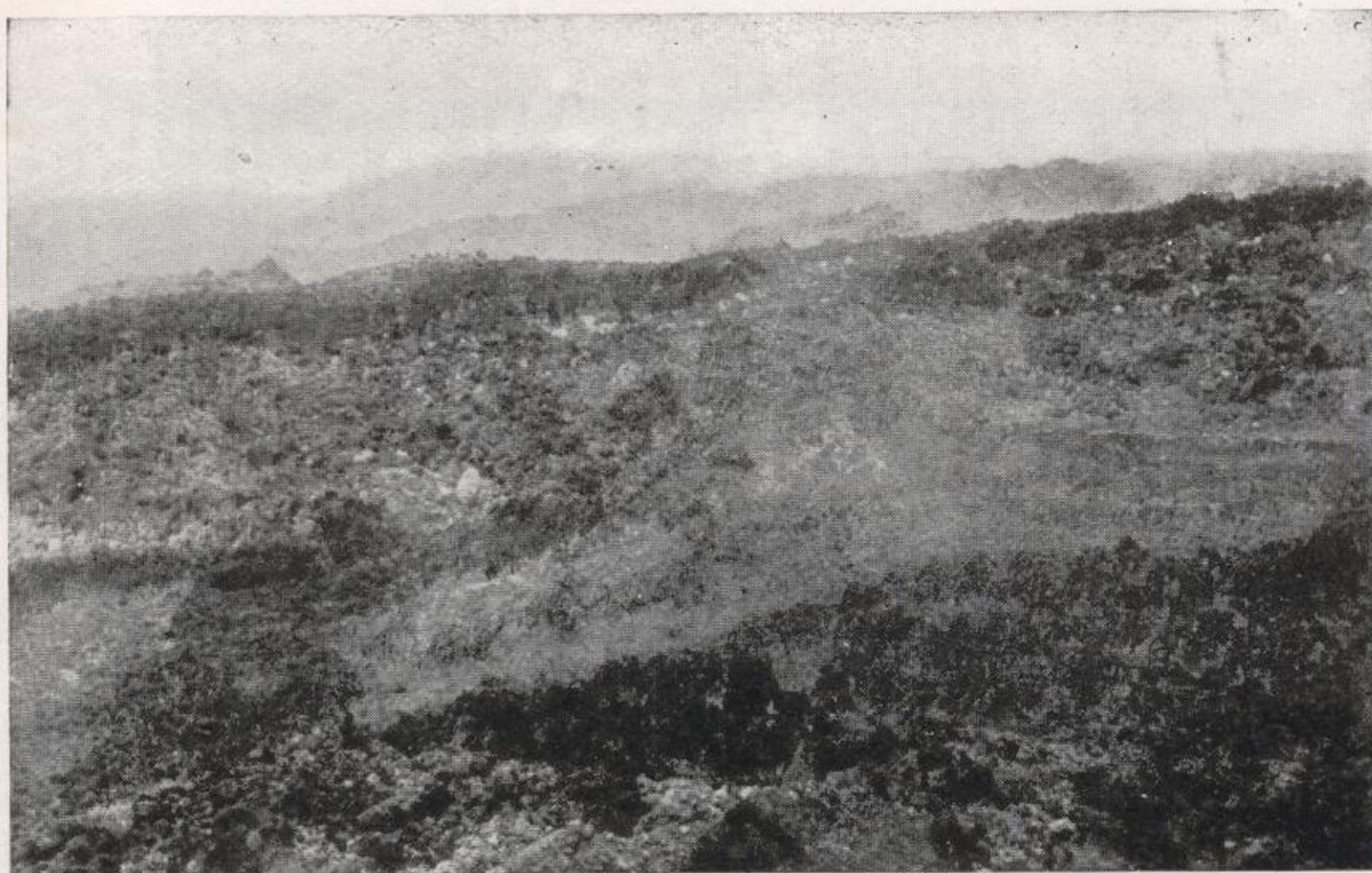


Fig. 15. Corrida de malpaís del Llano del Banco en la zona de la carretera, encauzando el río de lava que arrastra materiales sólidos (negro en la foto). Detrás, en segundo término, una aureola clara de vapor de agua indica que por allí corre otro ramal del río lávico.



Fig. 16.—Cráter del Llano del Banco con extrusión lávica, desde el lado Oeste



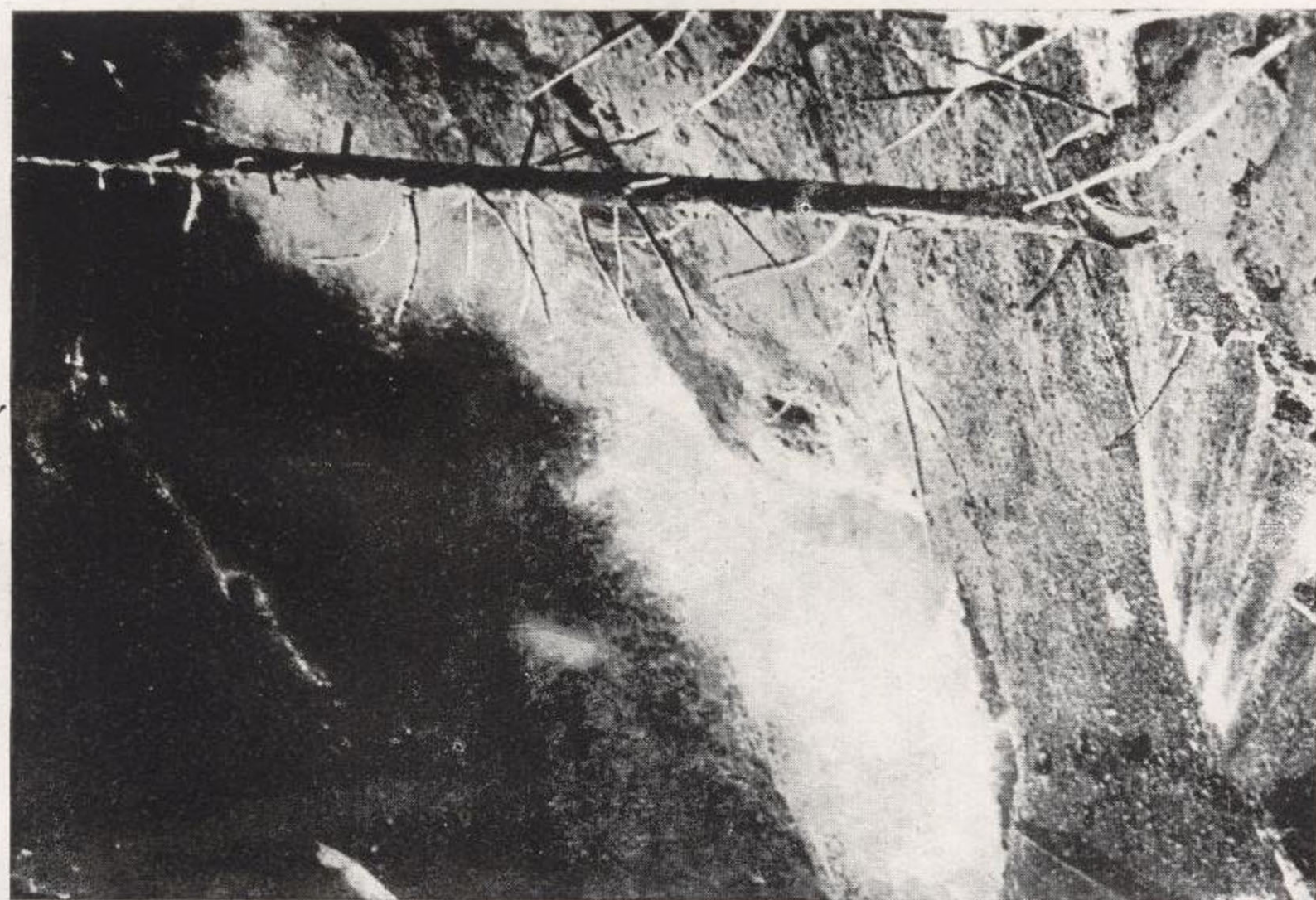


Fig. 17.—Cráter del Llano del Banco desde el lado Este.

Foto Benítez.



Fig. 18—El río de lava poco después de su nacimiento. El cráter se halla en el fondo blanco.

Foto Zenón.





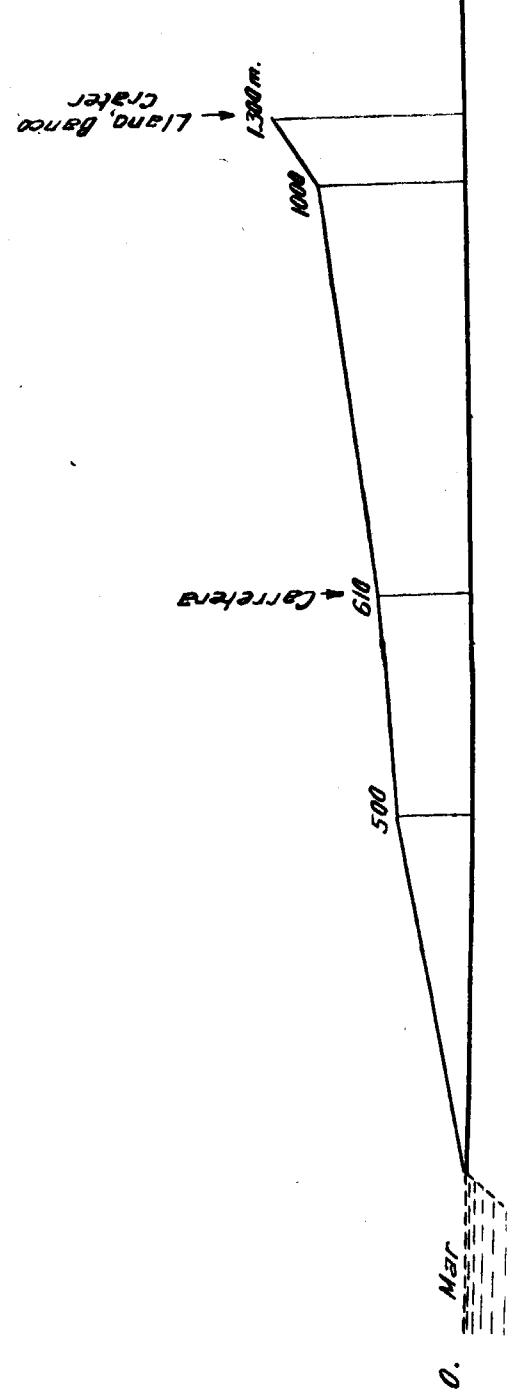


Fig. 19.—Perfil longitudinal del recorrido de la lava del Llano del Banco. Total 7,5 Km. hasta el mar (escala horizontal: 1 : 50.000).

des del terreno, por lo que se vió obligado a bifurcarse lanzando brazos secundarios, como reseñamos en el Diario del volcán. Por la misma causa su ancho es variable, e unos sitios mide unos 150 metros, pero en otros alcanza 400 y 500, como sucede en la zona de Las Manchas, según puede observarse en la fig. 22, en la que se halla representado el levantamiento topográfico de las corridas, efectuado por el Servicio Geográfico del Ejército.

Cuando visitamos, al día siguiente, a las 19 horas, el ventadero de lava al mar, en una falúa que nos condujo desde un embarcadero improvisado en un acantilado de la costa de Fuencaliente, hasta el puerto de Tazacorte, fuimos testigos de un inolvidable espectáculo. La costa es bastante abrupta, como puede observarse en las figs. 23 y 24, resultando visible al fondo de la última citada, aunque difícilmente, por la hora y el estado atmosférico, el Durazner lanzando una fumarola, con cierto aspecto de Vesubio. La cascada de lava ofrecía un frente de unos 600 metros, y la rápida evaporación del agua marina elevaba nubes blancas vaporosas hasta 50 ó 60 metros de altura, que impedía contemplar el desplome en catarata en el cerro posterior. En la foto número 24 puede verse el malpaís vertido (negro a la derecha), con el volcán al fondo, y en la 23 son visibles, a la izquierda, los pequeños canalillos labrados en el malpaís arrojado, pero es imposible ver las cascadas posteriores, aunque son imaginables por los escarpes de la costa, labrados por el mar en erupciones antiguas.

El mar estaba bastante agitado, pero no por influencia del volcán, sino a causa del viento o de un temporal marino que, incluso, obligó, a los dos días, a cambiar el rumbo de la navegación desde Santa Cruz de la Palma a Tazacorte, realizando los viajes por el norte de la isla, y no por el

Sur, como ordinariamente sucede. Al poco tiempo, se restableció la normalidad.

Era de temer, dadas las dimensiones de la isla —47 kilómetros de largo por 28 Km. de ancho, y 704, según unos, y 814 Km.<sup>2</sup> según otros, de superficie—, que tal vez algunos de los movimientos sísmicos hubieran podido afectar al mar, produciendo un micromaremoto, por lo cual, antes de abandonar Santa Cruz de Tenerife, nos informamos, merced a la amabilidad del encargado del mareógrafo que allí existe. Nos manifestó que no se había registrado ninguna perturbación. El estado del mar nos impidió aproximarnos al acantilado de lava, y fué forzoso contemplarle a unos 200 metros de distancia, a la cual no observamos ninguna influencia térmica en el agua ni ningún otro fenómeno, aunque, es lo cierto, que el incómodo oleaje, que llegaba a saltar a la falúa, no permitió parar el motor para detenernos. Abrazados al palo mayor, para no salir por la borda, conseguimos, malamente, tomar algunas fotografías. El espigón lávico penetraba en el mar unos 100 metros, y es de observar que, siendo La Palma la isla más abrupta del archipiélago —el Roque de los Muchachos, con sus 2.356 metros de altura se halla, en proyección horizontal, a 10 Km. del mar—, las profundidades marinas son considerables a escasa distancia de la costa. En el canal de La Palma a Tenerife se registran 3.245 metros de profundidad, y, según un mapa batimétrico, la curva de los 100 metros submarinos se halla a unos 1.500 metros de la costa, por la zona donde vierte la lava, lo que permite admitir un descenso medio de 6,68 %, con lo que a los 100 metros le corresponderían unos siete de profundidad, en números enteros.

Sobre la masa negra del malpaís, se estableció la corriente líquida de lava, que por la fluidez que caracteriza a

su naturaleza basáltica, labra su curso como pudiera efectuarlo el agua, favorecida, además, por su densidad y por la elevada temperatura. A su salida del cráter, ha lanzado algunos vivos resplandores en los días de crecida, pero, por su luminosidad, no deben considerarse como llamas ni de hidrógeno ni de metano, sino de vapor de agua recalentado, porque tampoco tiene temperatura suficiente para producir la disociación de aquél. No la hemos visto salir en forma de gran surtidor, sino saltando a unos cuantos metros y chocando, en seguida, con la otra ladera del barranco, que no tardó en socavar y en hendir, produciendo desprendimientos, como en la propia fisura de salida. Lo mismo sucedía a lo largo del cauce, donde los fenómenos resultan más complejos. Al circular sobre el malpaís primitivo, rellena los huecos, pero la renovación incesante de la corriente produce la erosión del lecho, con lo cual ahonda su cauce. Después, socava las laderas y produce desprendimientos (fig. 18), que cuando tienen lugar en terrenos minados por ella, como en las laderas orientales del monte, cerca del cráter o cuando ya circula encajada en el suelo natural, como quiera que las zonas superficiales de los terrenos desprendidos conservan humedad, al ser arrastrados por la corriente, producen vapor de agua, que como un blanco penacho corre flotando sobre la lava, según puede observarse en las figs. 25 y 26, que recogen dos aspectos nocturnos del río. Claro es, que tales desprendimientos van acompañados de ruidos, pero sin que sean subterráneos, como algunos informadores han manifestado.

Otro fenómeno interesante se produce al existir una crecida de lava, como las registradas en el Diario, y, por consiguiente, un aumento de nivel, con lo que le es más fácil la erosión mecánica y el relleno de huecos entre los

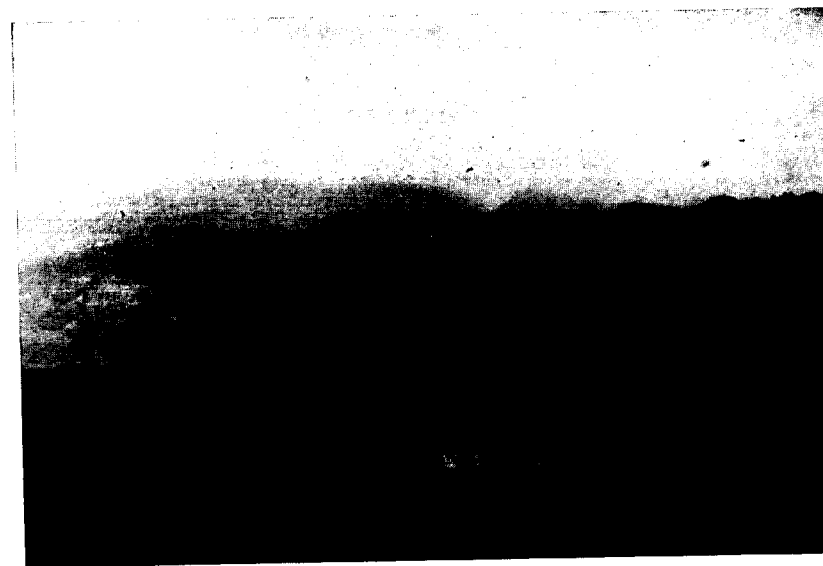


Fig. 20.—El río de lava desde la zona de la carretera, descendiendo desde el Llano del Banco, entre pinares. El malpaís aparece en negro.



Fig. 21.—El mismo río de lava desde una zona más alta.



Fig. 20.—El río de lava desde la zona de la carretera, descendiendo desde el Llano del Banco, entre pinares. El malpaís aparece en negro.



Fig. 21.—El mismo río de lava desde una zona más alta.

Zona de las recientes erupciones volcánicas en la Isla de la Palma  
 Levantamiento topográfico del Servicio Geográfico del Ejército-1949

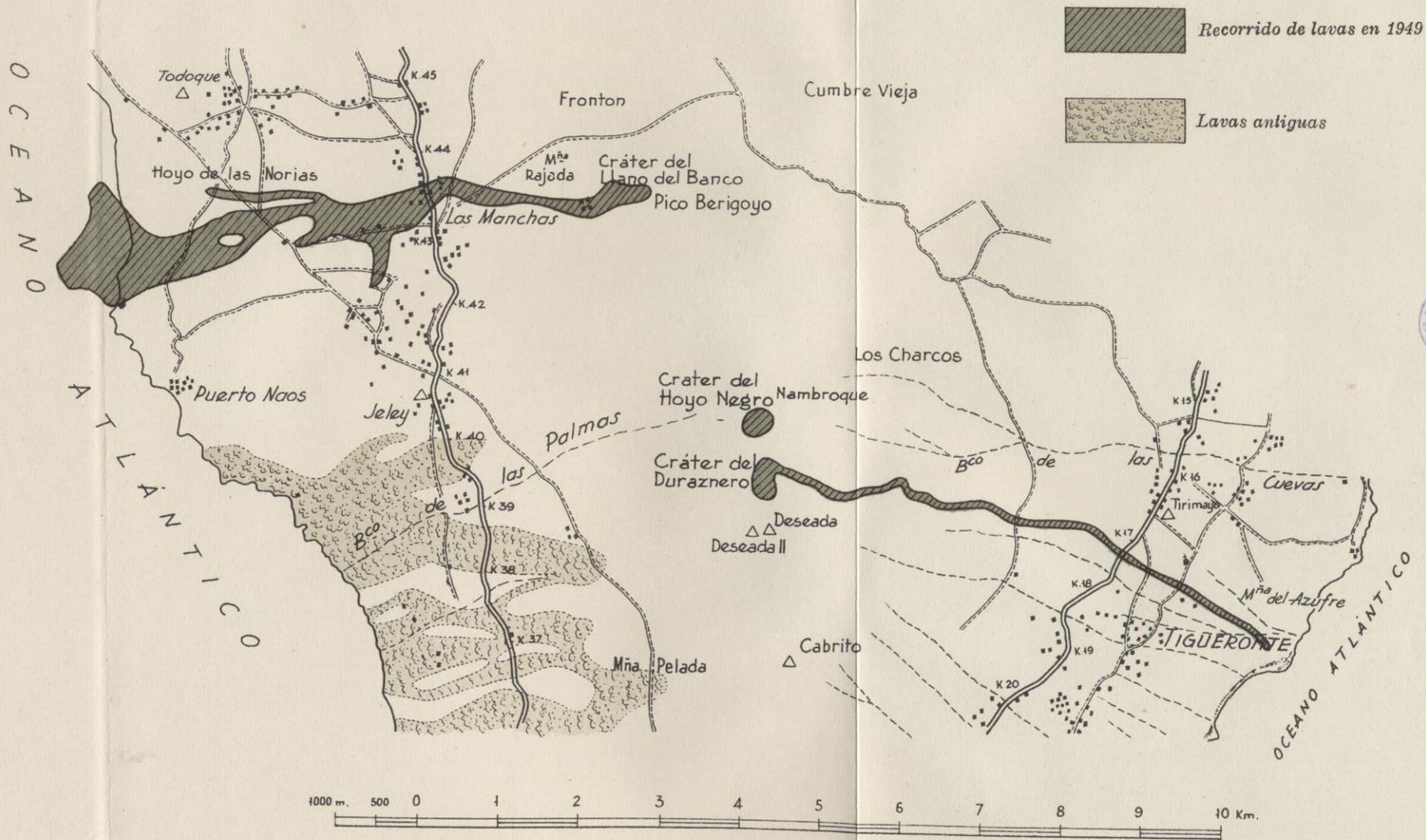


Fig. 22

NOTA: Para mayor sencillez se han suprimido al reproducirle las curvas de nivel. (J.R.O.)

elementos del malpaís, antes al descubierto, engendrando la brecha vulcánica. La muralla de contención que éstos venían constituyendo desaparece en algunos sitios y se producen desbordamientos lávicos que, afortunadamente, no han tenido gran importancia catastrófica. En la fig. 19 se puede observar uno de ellos: el río de lava viene desde la parte alta de su recorrido, que tiene como cabecera la fisura del Llano del Banco. La corriente va encajada a una profundidad variable entre dos y seis metros, y a la derecha, y en primer término, es visible la lava solidificada que en una crecida desbordó su cauce, resultando ahora unas diez veces más ancho que el anterior, con lo cual puede formarse idea de la importancia que ha tenido el período más intenso de la efusión. El cauce de la lava fluida ha sido variable entre unos 10 y 600 metros de ancho, según los lugares, y en su vertedero al mar ha alcanzado la considerable cifra de 1.300 metros.

La primera enseñanza que se deduce de este modo peculiar de emisión, es que la lava modifica en su recorrido su naturaleza química, al propio tiempo que también disminuye algo su temperatura, y será interesante estudiar la traducción que esto produce en las preparaciones microscópicas, cuando todo se enfríe y lapidifique. No hay que decir que también se encontrarán brechas vulcánicas en la propia corriente lávica, por ser este fenómeno función del tiempo de actuación y de su distancia al cráter. Rellenos o cementados por materiales detríticos, de acción atmosférica, se convertirán en tobas vulcánicas, como antes hemos dicho que se observa en el vulcanismo antiguo.

La temperatura en la salida, que es la más importante, porque en vulcanismo todos están conformes en que lo interesante es la observación y medida de los valores máximos, no hemos podido determinarla porque nuestro pi-

rómetro no era apto para ello, pero por lo que sabemos acerca de las lavas de esta naturaleza, puede estimarse, sin gran error, en unos  $1.200^{\circ}\text{C}$ . En la zona de la carretera tenía unos  $1.100^{\circ}\text{C}$ . Se trata de una lava que desprende con toda facilidad todos sus gases, fenómeno más fácilmente visible en el cráter, quedando después mansa y tranquila, presta a discurrir por su cauce. Las velocidades consignadas anteriormente se refieren a los dos primeros días de la erupción lávica, pero, ya al tercero, eran muy diferentes, porque la lava corría en el primer trozo de su trayectoria como una verdadera cascada, con una velocidad de 10 metros por segundo. En el trozo de la carretera ha llegado a tener un máximo de 2,5 metros por segundo, en los días 17 y 18, durante los cuales experimentó una fuerte crecida.

A todas horas del día y de la noche, el acontecimiento tenía muchos admiradores, en los que producía variadas reacciones espirituales, pero con una dominante: la de sentirse abatido y apocado ante las fuerzas de la Naturaleza. Allí, el filósofo de Koenisberg se hubiera creído, con más razón que nunca, «una brizna del Universo», que es la abdicación más humillante para un rey de la Creación. De poco vale una filosofía si no la sustenta una fe. Es pueril la gallardía ante los fenómenos naturales, pero un filósofo de la ciencia debe sentir la noble aspiración de corregirlos.

La gente que venía de Tenerife y de las demás islas del archipiélago, pasaba la noche sobre cubierta, y no hay palmero que no le haya visitado. El volcán bien merecía aquel concurso de nocherniegas multitudes. Como espectáculo, era emocionante ver la cinta de fuego desplomándose en cascada, de un blanco encendido, desde las alturas del Llano del Banco. De cuando en cuando, una piedra

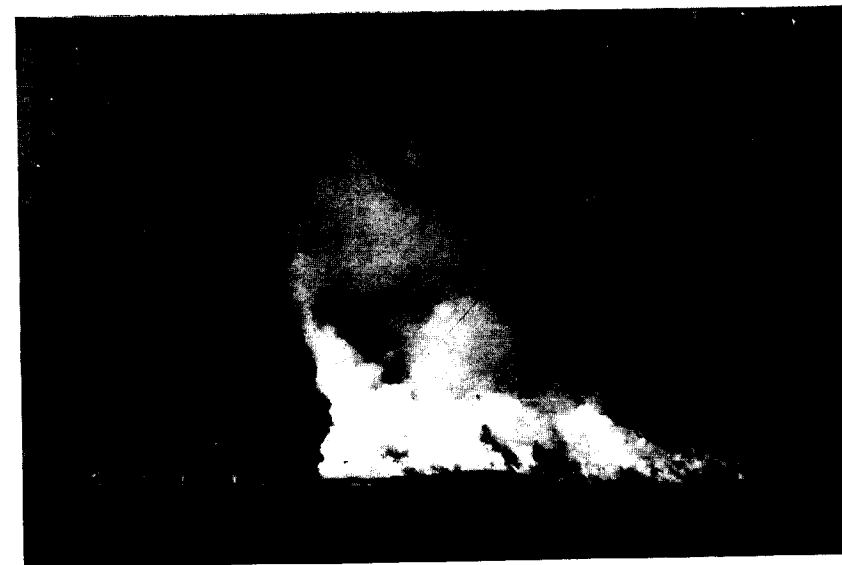


Fig. 23.—El río de lava vertiendo en el mar. A la izquierda, pequeños canales de lava surcan el malpaís.



Fig. 24.—El río de lava vertiendo en el mar. A la derecha, en negro, el malpaís, y al fondo, en alto, el Duraznero.

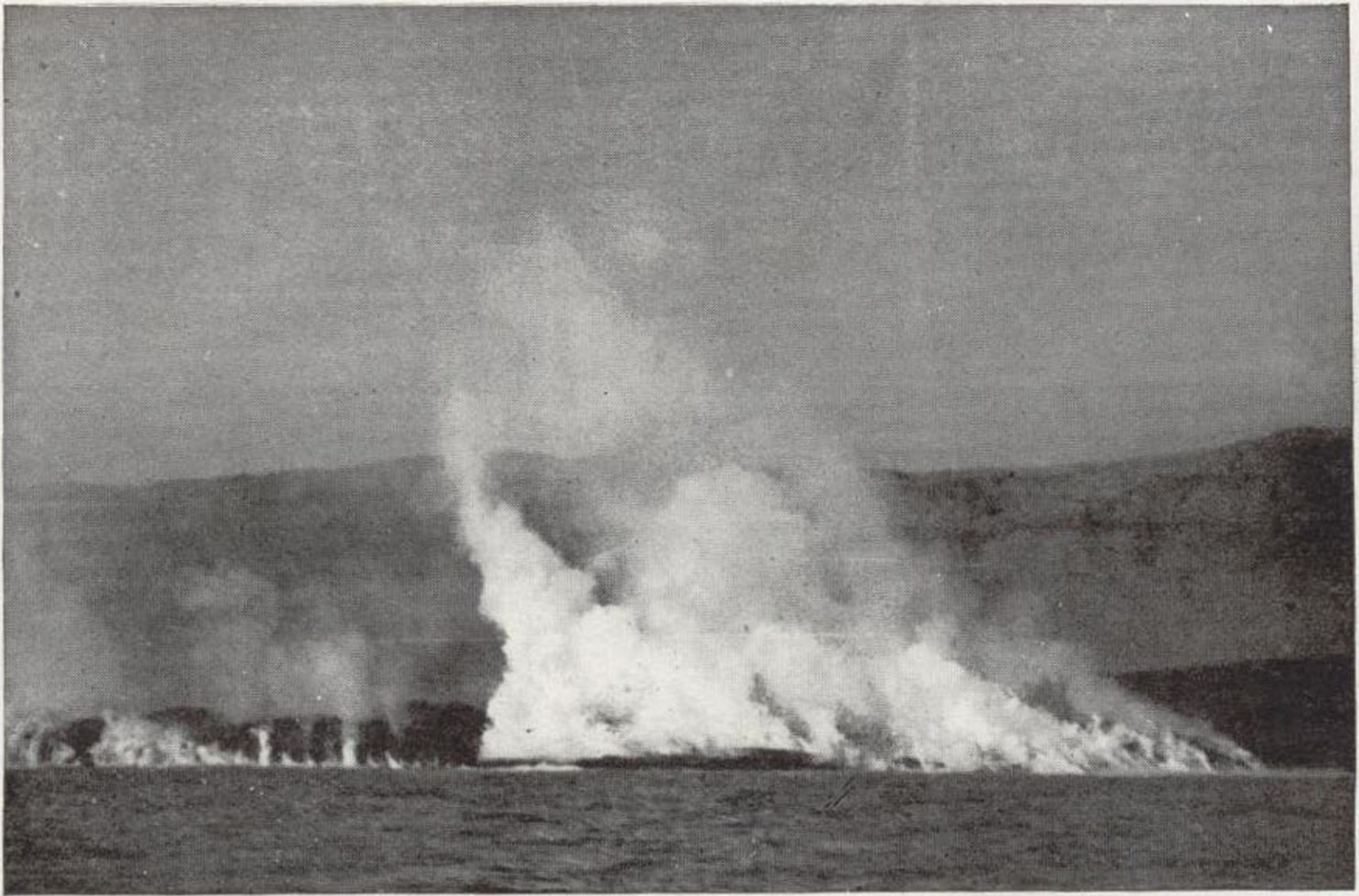


Fig. 23.—El río de lava vertiendo en el mar. A la izquierda, pequeños canales de lava surcan el malpaís.

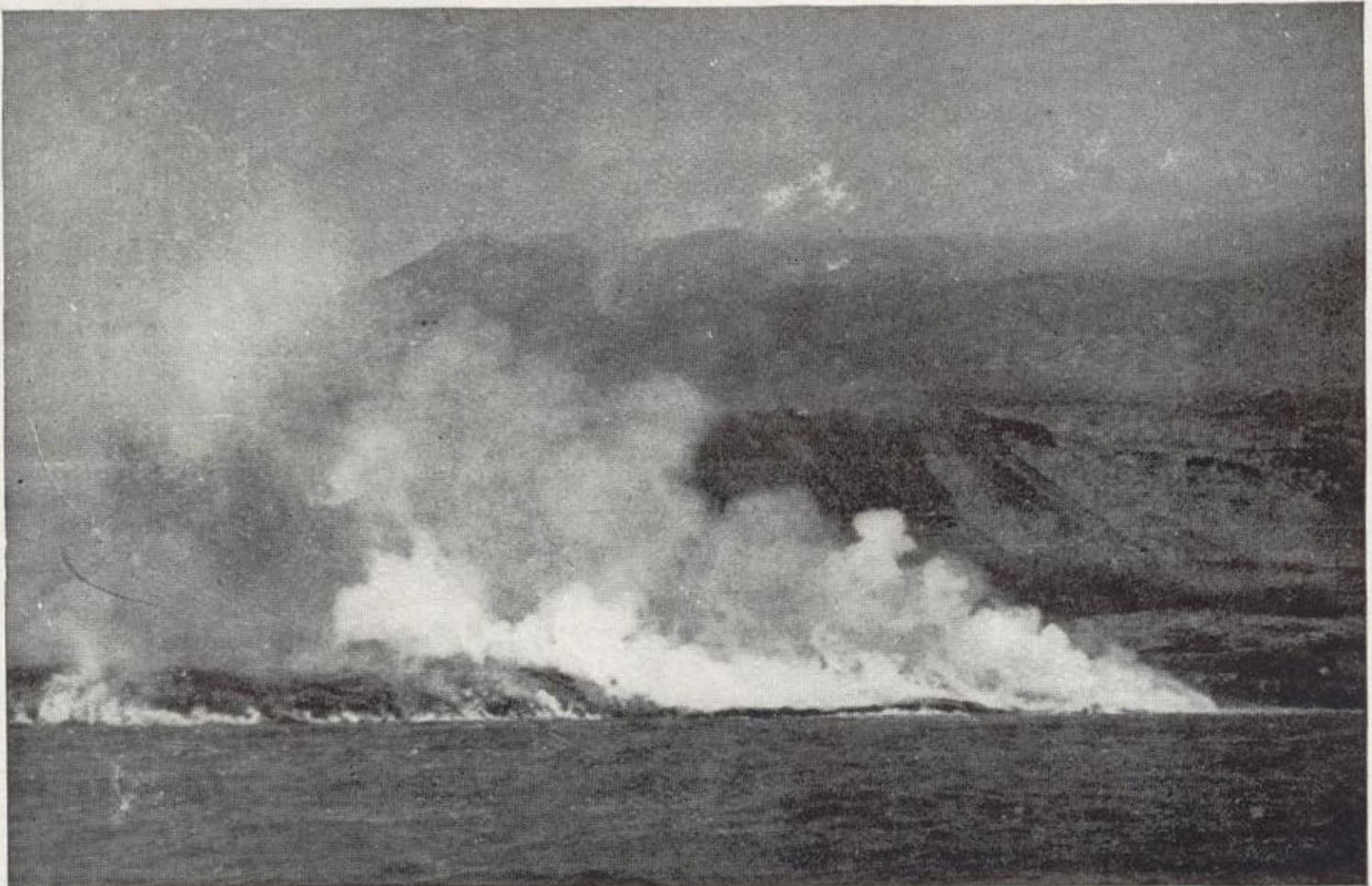


Fig. 24.—El río de lava vertiendo en el mar. A la derecha, en negro, el malpaís, y al fondo, en alto, el Duraznero.



caída se convertía en globo luminoso deslumbrador que, después de un efímero recorrido, se perdía en el torrente. Una aureola de color anaranjado, diluida en la altura con tonos violáceos, por el azul del cielo, marcaba el reflejo celeste de toda la corrida. En la carretera, con la vista baja, recibimos el duro contraste de la muralla negra del malpaís, que todo lo eclipsa. Podemos subir por su talud, salvando los huecos que han quedado, sin temor a los gases que desprende en insignificante proporción. Carecen de toxicidad y son inodoros; son vapores acuosos. Vencida la fácil subida, caminamos otros 10 metros sobre el propio malpaís, de cantos con angulosas aristas, cuyos huecos pretenden aprisionarnos. Unos pasos más por este negro y desigual camino y, cuando queremos sentir el suave calor que se desprende por sus vacíos, surge de nuevo un espectáculo tal vez más impresionante, porque tenemos el río de lava a nuestros pies. Estamos a unos tres metros de su orilla; observamos el arrastre, en la roja superficie, de algunas piedras sueltas que ruedan sin cesar, pero sólo turba el silencio un rumor continuo de tono grave, que es la huella majestuosa en el aire del fluir imponente de la lava. Percibimos un fuerte calor seco, que nos produce más sofoco que cuando nos baña un fuerte sol. Sin tomar precauciones especiales, sería imprudente dar un paso más (figs. 14 y 15).

El río tiene una anchura variable, pero el ramal donde estamos mide ahora unos 40 metros. El panorama vuelve a ser limitado, porque tenemos enfrente otro muro negro del malpaís primario, tras el que corre otra bifurcación del río, contenida por otro muro, que es fácilmente accesible por el lado opuesto, o sea viniendo por la carretera desde Santa Cruz de la Palma, pues hemos llegado desde El Paso. Por la vertiente sur se advierte mejor el embalse de

la lava hacia Cuatro Caminos, pero no se contempla tan de frente la cascada.

La fig. 25 recoge un aspecto vespertino del río de lava, bifurcándose en dos ramales principales, que dejan en sus cauces pequeños islotes, siendo bien perceptible la fluidez de la corriente. La n.º 26 es una visión nocturna, en la que aparece el río con su aureola vaporosa, cuando produce desprendimientos en el islote intermedio, al que ataca. Por la parte de la derecha se le observa completamente líquido y poco viscoso. Las franjas oscuras representan la trayectoria de alguna piedra arrastrada.

A los 14 días de la erupción, disminuye la extrusión de lava y ésta comienza a solidificarse en diversos puntos, incluso en la carretera, donde faltaba el acceso de nuevas aportaciones. Durante los primeros días, cuando el cráter arrojaba malpaís, parece que existía un empuje longitudinal transmitido por la viscosidad; que era el que le obligaba a avanzar, a modo de un sistema articulado ayudado por la pendiente, pero también salvando alguna rampa, como lo efectúa la morrena frontal de un glaciar, sólo que en el caso del vulcanismo existe una especie de amasado de mortero y no un mero deslizamiento.

El día 26, a las 5 de la tarde, cesó la erupción de lava en el cráter. El fenómeno ha durado 18 días y medio, o sea 444 horas.

Como es frecuente en estos casos, al día siguiente de cesar la extrusión de lava se podía andar sobre ella, porque, como es sabido, se forma una costra sólida muy resistente, aunque por la pequeña conductibilidad calorífica la masa interna continúa fundida. Durante el proceso de enfriamiento total de la lava se producirán fenómenos curiosos, que sería conveniente observar. En algunos lugares donde la corrida ha tenido poco espesor, porque la topo-

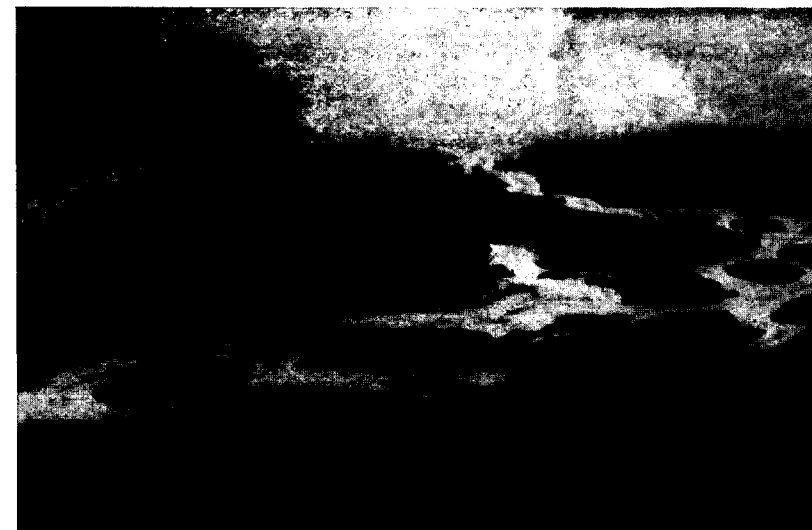


Fig. 25.—Aspecto nocturno del río de lava.

Foto Benítez.



Fig. 26.—Otro aspecto nocturno del mismo río.

Foto Benítez.

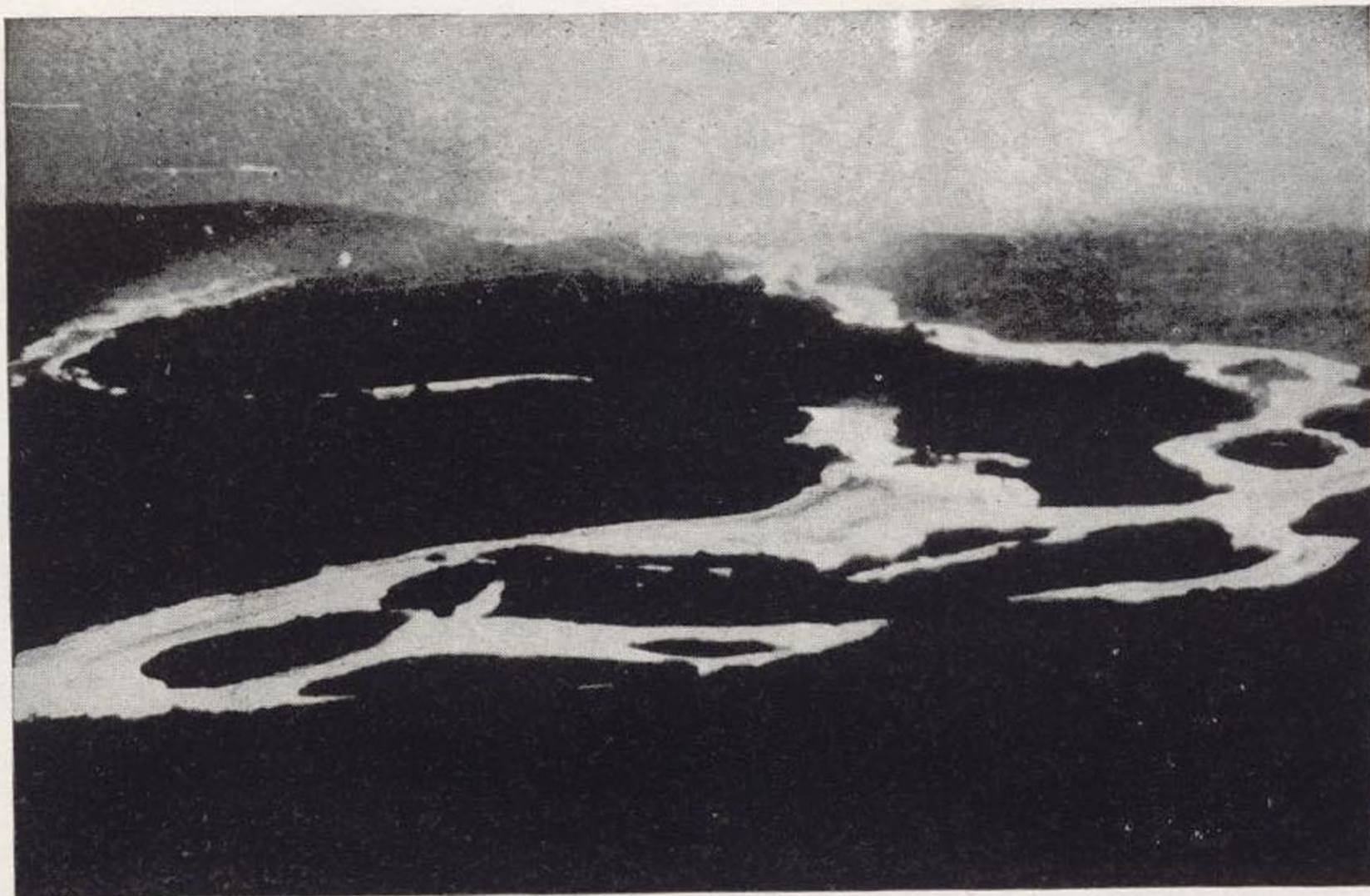


Fig. 25.—Aspecto nocturno del río de lava.

Foto Benítez.

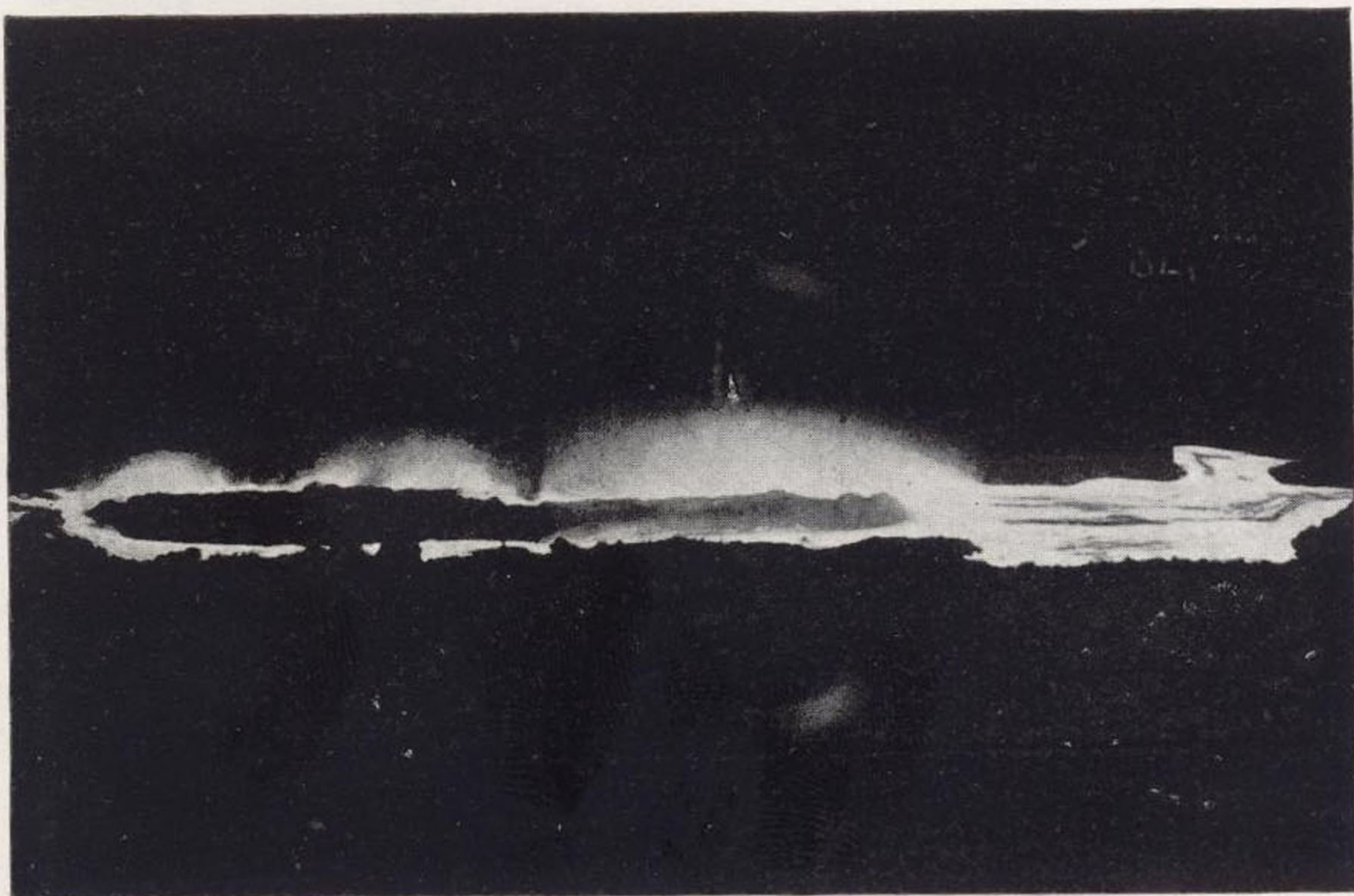


Fig. 26.—Otro aspecto nocturno del mismo río.

Foto Benítez.

grafía del terreno ha impedido su acumulación, es bien clara la solidificación cordada, en forma de cuerdas yuxtapuestas o sobrepuestas, cuyo arco avanza en el sentido de la corriente, como las denominadas «pahoehoe» por los hawaianos. Cuando la potencia es mayor y la pendiente escasa, existe la tendencia a solidificarse en bloques irregulares, como las lavas denominadas «a-a» por los naturales de Hawai. Y también se inicia otro modo de solidificación en algunos hoyos, que dan un aspecto de panes lisos sobrepuestos parcialmente, porque la lava ha corrido más velozmente que la cordada.

Finalmente, se establece, como hemos dicho, la formación de «hornitos» por el desprendimiento de gases y se observan algunas formas espiraloideas, con aspecto de rosas, que recuerdan las litofisas. No falta, tampoco, la textura filamentosa en el sentido de la corriente. Las figuras 27, 28 y 29, la primera correspondiente a una zona de desbordamientos, traducen, gráficamente, cuanto venimos diciendo.

#### **Consolidación de la lava**

Nuestras observaciones se refieren al día 3 de agosto de 1949. En el río de lava del Llano del Banco, a unos 600 m. de su desembocadura en el mar, a una profundidad de 50 cm., la temperatura en las sinclasas de contracción oscilaba entre 515 y 520° centígrados.

La superficie es bastante irregular, observándose grandes promontorios, y toda ella se encuentra surcada por numerosas grietas de contracción, distanciadas 40 ó 50 metros, dirigidas en todos los sentidos y, en general, con dirección inclinada y diversa con el eje de la corriente, por las cuales salían muy lentamente los vapores acuosos,

dando a la lava un aspecto de enrejado. La longitud de estas sinclasas es de 50 cm. a un metro y su anchura de 5 a 10 centímetros.

El espigón que penetra en el mar y es batido por las olas, se encuentra cubierto por una capa de sales marinas, debida a la rápida evaporación del agua que cae sobre la lava en forma de lluvia fina. En el mapa (al final de la Memoria) y en la figura 22 se representan los brazos de lava desbordados del cauce principal durante los últimos días, que resultaban con aspectos distintos porque no estaban cubiertos por la lluvia de cenizas que tuvo lugar anteriormente.

En las proximidades de la carretera, a unos cinco kilómetros del mar, la temperatura en las sinclasas, a la antedicha profundidad de 50 cm., era también de  $520^{\circ}$  C., y en la superficie, a unos 30 cm. de la grieta, el pirómetro marcaba  $61^{\circ}$  centígrados. La grieta medía 70 cm. de longitud, por una anchura de 3 a 10 centímetros.

Durante el primer período de consolidación se han percibido algunos ruidos nocturnos, que alarmaron a algunas personas, singularmente en Las Manchas, por creer que allí mismo se estaba preparando una nueva erupción. Eran debidos al fenómeno que ya he relatado con anterioridad. La lava, al enfriarse superficialmente, forma una costra, bajo la cual aquélla continúa fluyendo y deja, de esta manera, pequeños túneles, cuya bóveda acaba fragmentándose y a veces hundiéndose, cuando se enlazan las sinclasas. Cuando el trozo de bóveda era grande y la altura de caída de alguna importancia, parecía que temblaba la superficie. En las proximidades de la fisura del Llano del Banco, se estaban formando dichos túneles. En las zonas donde el terreno presentaba escasa pendiente y la capa de lava ha sido potente, no siempre se encuentran las formas

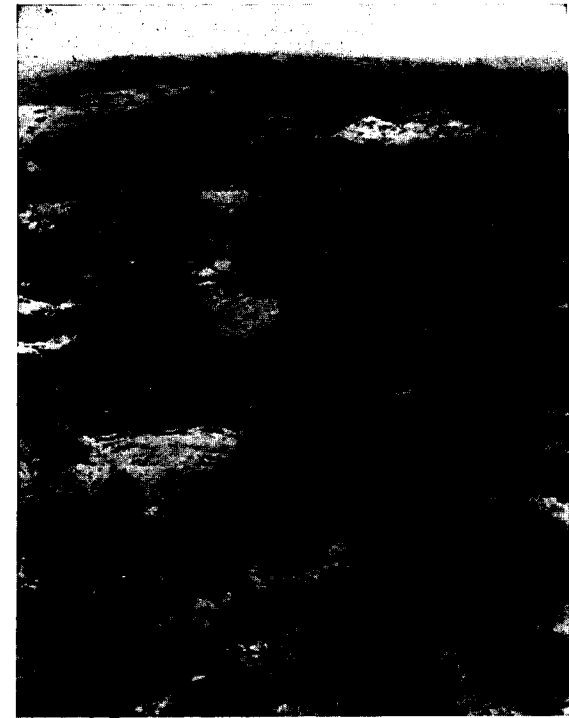


Fig. 27. — Solidificación de la lava con predominio filamentoso.

Foto Benitez.



Fig. 28. — Formación de lava «cordada» en la parte SE. de la fotografía.



Fig. 27. — Solidificación de la lava con predominio filamentoso.

Foto Benítez.



Fig. 28. — Formación de lava «cordada» en la parte SE. de la fotografía.



Fig. 29.—Lava cordada en los primeros momentos de solidificación, en las proximidades de la carretera.



Fig. 30.—La primera columna surgida en Hoyo Negro.



cordadas sino también otras grandes superficies lisas, de negro brillante con irisaciones violáceas.

El día 2 de agosto se trabajaba, haciendo una pequeña trocha, para pasar la lava del Llano del Banco en la carretera general, que personas más decididas habían comenzado a cruzarla seis días antes. El día 3 la trocha estaba en bastante buen estado y era cruzada por personas de todas las edades e incluso por caballerías sin herrar. El día 5, a las 16 horas, se estaba rellenando y preparando para restablecer el tráfico rodado, y el día 8 ó 9 ya quedó en forma normal.

### 3) El Hoyo Negro

El Duraznero permanecía tranquilo y nuestra atención era absorbida por la efusión de lava, pero de repente se presentó una nueva complicación. Cuando el día 12 nos dirigíamos hacia el Duraznero, estando a poca distancia de El Paso, en el camino forestal que conduce al Refugio, a las 4,10 de la tarde, nos sorprendió una vigorosa columna de humo de color negro intenso, que se elevaba sobre las cimas de las montañas, entre Bidigoyo y Nambroque.

El ayudante Sr. Fernández obtuvo la primera fotografía (fig. 30) y estuvimos contemplando cómo a los pocos minutos era deformada y barrida por el viento, mientras otra nueva volvía a elevarse al cielo. El período era de unos 30 segundos y la altura seguía siendo la misma, de unos 700 m., manteniéndose constante, por tanto, la actividad interna.

Teníamos, así, un tercer foco vulcánico de gran interés, que no había sido anunciado con ningún preludio sísmico importante. La fig. 31 representa la depresión del cono de



cenizas donde nació. Visitando el terreno vimos que se había abierto una nueva boca hacia el oeste del Roque de Nambroque y hacia el sur de La Barquita, a unos 700 metros al norte del Duraznero y a unos 2.800 m. de la boca del Llano del Banco, en otra hondonada del terreno, situada a unos 1.850 m. de altitud. Forma, también, parte de los conos volcánicos antiguos, que en toda esta zona existen, y cuyo estudio detenido podrá revelar las múltiples fases que allí tuvo el vulcanismo pasado.

En dicho día, el Duraznero no emitía más que gases y vapores blancos, algo sulfurosos, y presentaba las cinco bocas que hemos reseñado.

El Hoyo Negro debió abrir sus tres bocas (una de ellas ha sido obturada) en muy poco tiempo y caminando en su apertura de N. a S., pues no tardamos en observar un ritmo o pulsación en el lanzamiento de las columnas de humo (\*). En vista de la fig. 32 puede formarse el lector idea de que la columna, en su arranque hasta una altura de unos 250 metros, donde el aire la abate, es casi perfectamente cilíndrica, logrando alcanzar los 700 m. antes de ser deshecha por la brisa. Su anchura en la base es de unos 200 metros, y obsérvese que el cielo se halla gris por las cenizas lanzadas. Al día siguiente, en el transcurso de unos 10 segundos, la columna se elevaba hasta unos 600 m. de altura, en cuyo momento solía ser deformada o arrastrada por el viento y, cuando llegaba a esta cota máxima, nacía

(\*) Séanos permitido este vocablo en gracia a la rapidez de expresión y a lo generalizado que se halla, porque la impresión que recibe la vista a distancia es como si la columna fuese de humo. En vulcanología se usan términos totalmente inadecuados en una ciencia, pero expresivos para un observador. Tales son *humo* y *cenizas* sin que provengan de una combustión; *escorias*, sin que la fusión natural tenga el carácter selectivo de la metalúrgica, etc., etc.



Fig. 31.—Depresión del Hoyo Negro.



Fig. 31 a.—Cráter del Hoyo Negro.

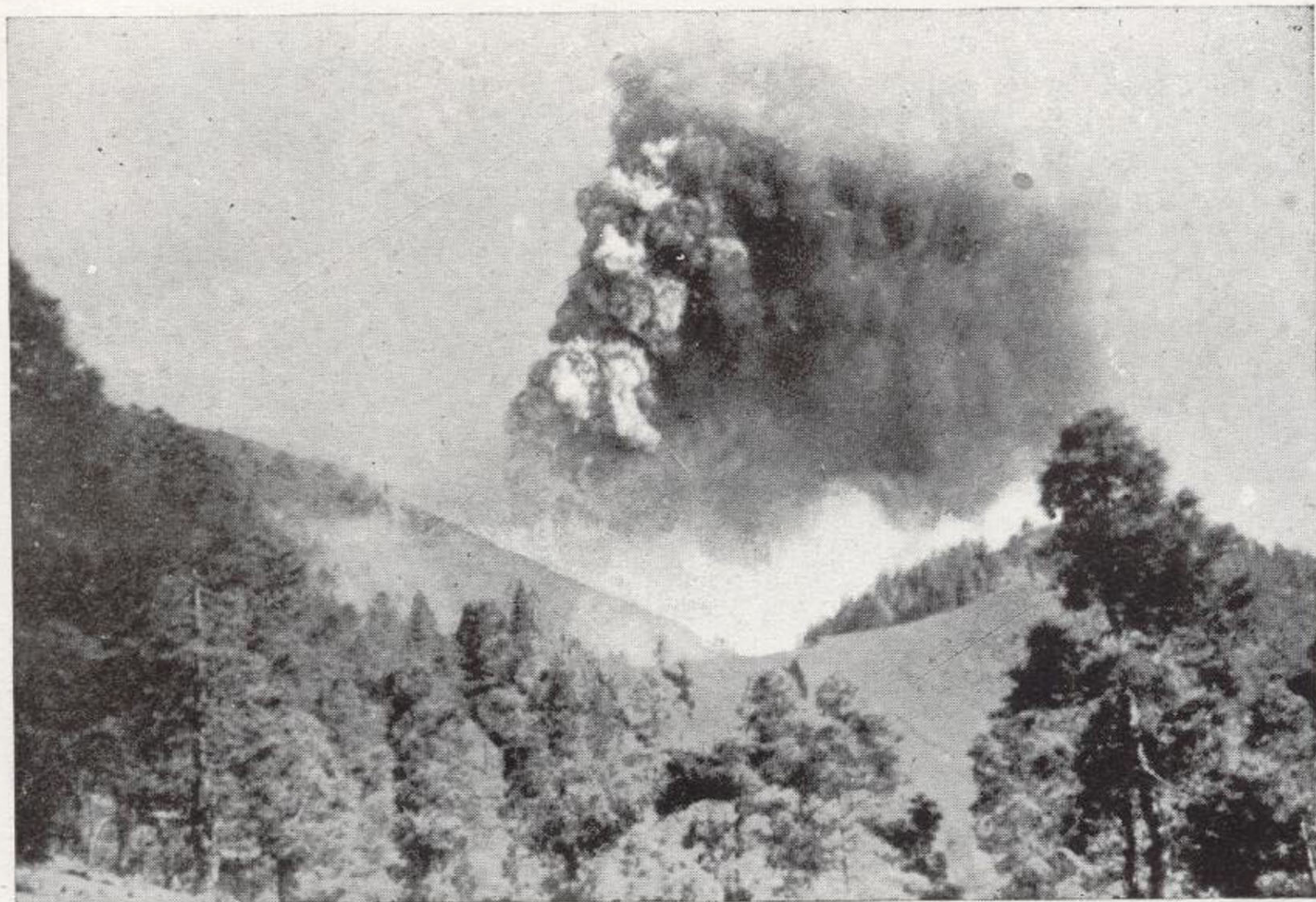


Fig. 31.—Depresión del Hoyo Negro.



Fig. 31 a.—Cráter del Hoyo Negro.

Foto Zenón



LA ERUPCIÓN DEL NAMBROQUE

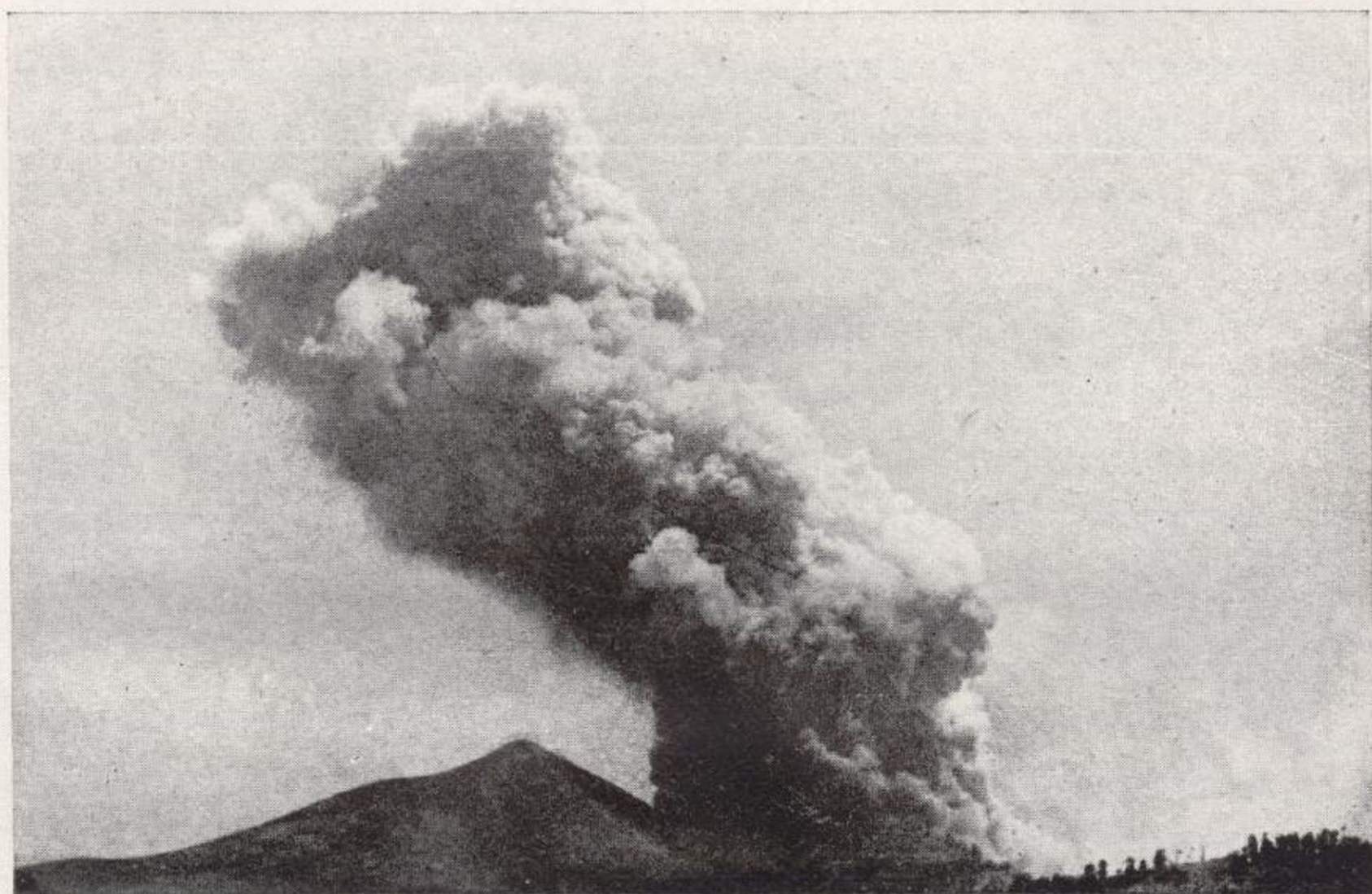


Fig. 32. - La columna de humo en el primer día de la erupción. A la izquierda, la cúspide del Bidigoyo.



una segunda que sufría la misma suerte y luego una tercera y aun existía la apariencia de una cuarta, porque la última se desplazaba por la acción del viento. Sobrevenía una pausa de unos 20 segundos y el fenómeno volvía a comenzar, solemne y majestuoso (figs. 33 y 34). Se obtenía la sensación de que todo el fenómeno se trasladaba un poco hacia el Sur. Claro es que me refiero a los momentos de mayor intensidad, pues cuando aquélla decrecía las pausas entre las emisiones sucesivas eran mayores, así como la altura alcanzada.

Estas pulsaciones han sido observadas en varios volcanes y obedecen, a mi juicio, a la necesidad de restablecer en la cámara magmática la presión gaseosa necesaria para producir el nuevo lanzamiento, con la intermitencia que se observa en los geysers, por ejemplo. La Naturaleza parece que se complace, en ocasiones, en actuar por saltos, como obedeciendo a una mecánica extraña. Da la apariencia de emplear lentamente una gran energía en la carga potencial de un resorte, para ponerla en libertad en el momento por ella determinado. Una fisura terrestre, que se prepara poco a poco, no se abre paulatinamente, sino con una brusquedad que nos impresiona, porque obedece a una dinámica muy diferente de la habitual. Claro es que su velocidad de apertura o propagación tiene un límite máximo conocido. No puede ser superior a la de las ondas sísmicas engendradas.

La existencia de varias bocas y la rapidez del fenómeno daban la sensación de una especie de estratificación columnar, como revelan las figs. 33 y 34, en las que las columnas se elevan a unos 400 metros. En la figura 35 puede observarse la densidad de la nube, en cuanto a su color negro.

Hasta la altura de unos 250 m., la columna se elevaba

cilíndrica, erguida y compacta, vencedora del viento, creciendo su fuste negro y denso, pero al llegar a esta altura empezaban a dibujarse grandes volutas que se alzaban en espiral, dando nacimiento a otras menores, y emitiendo, entonces, tonos blanquecinos por la reflexión de los rayos solares. El viento, que en aquellas altitudes es casi constante, acababa por arrastrar su capitel y, en ocasiones, el penacho grisáceo se confundía con la bruma.

En una crónica del volcán parece obligado decir que algunas narraciones se han excedido al consignar cifras de 2.000, 4.000 y hasta 6.000 m. para la elevación de la columna. Según nuestras observaciones no ha pasado de 700 m. de altura, que ya es bastante considerable. Me refiero a la columna más o menos formada, pues el polvo volcánico es posible que haya pasado de los 20.000 metros, cuando fué arrastrado por el viento. Existen dos datos que pueden orientarnos. A los dos días de la erupción, el 26, realizó un vuelo en avión el Excmo. Sr. Capitán general de Canarias y, como en el Diario hemos consignado, manifestó la prensa que había existido mala visibilidad, porque una columna de humo de 4.000 m. de altura envolvía al avión, mientras volaba a 2.500 metros. No se trataba de humo, sino de nubes. Como decimos en el Diario, todo el día 26 el cielo estuvo nublado, pero no por efecto del volcán, sino por nubes acuosas, ya que mediada la tarde cayó una ligera llovizna y por la noche quedó el cielo completamente despejado. También realizó otro vuelo el 15 de julio un operador cinematográfico de NO-DO, acompañado de otras personas, y también se dijo que voló a 2.000 metros de altura. Existía entonces el incendio de un pinar, que lanzaría el humo consiguiente, el cual no era visible para nosotros porque existía lluvia de cenizas. La prensa publicó que «la impresión desde la altura de 2.000 metros,



Fig. 33. — Sucesión de las columnas de humo.



Fig. 34. — El Hoyo Negro en plena actividad.



Fig. 33.—Sucesión de las columnas de humo.

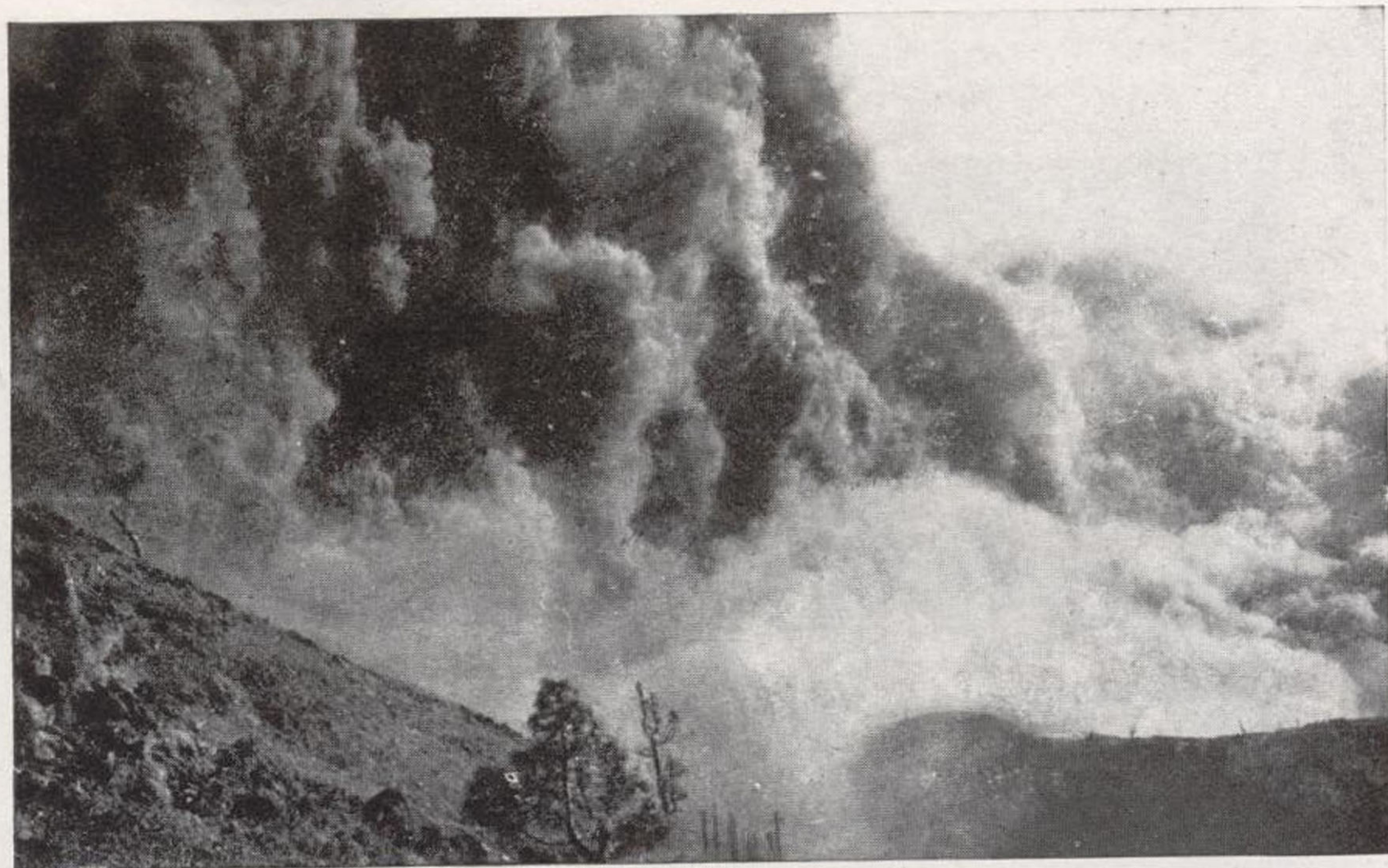


Fig. 34.—El Hoyo Negro en plena actividad.



Fig. 35.—Columna de humo densa y espesa.

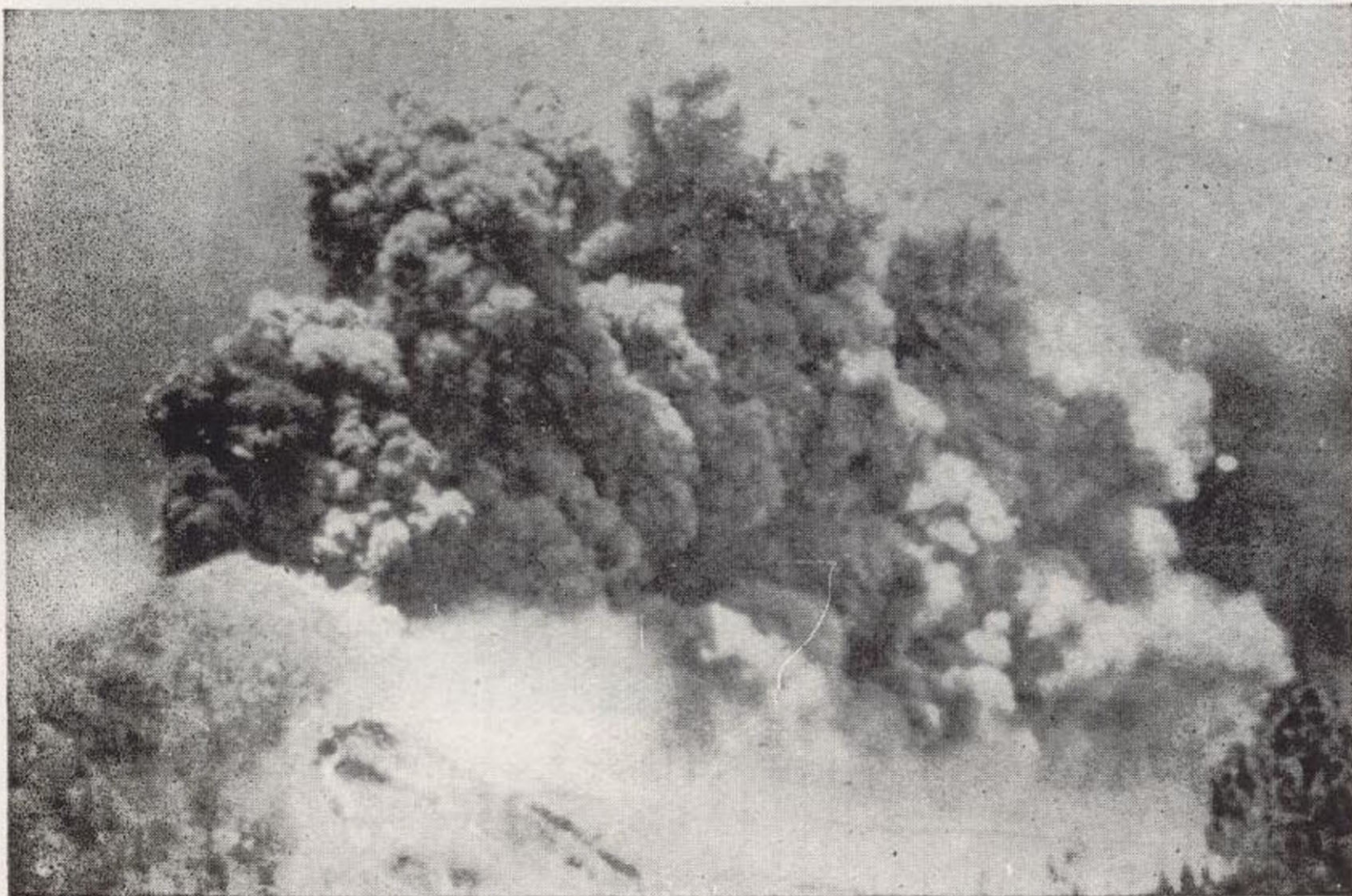


Fig. 36.—Columna de humo en forma de «coliflor».





Fig. 37.—En la parte SE. trayectoria de las rocas lanzadas.

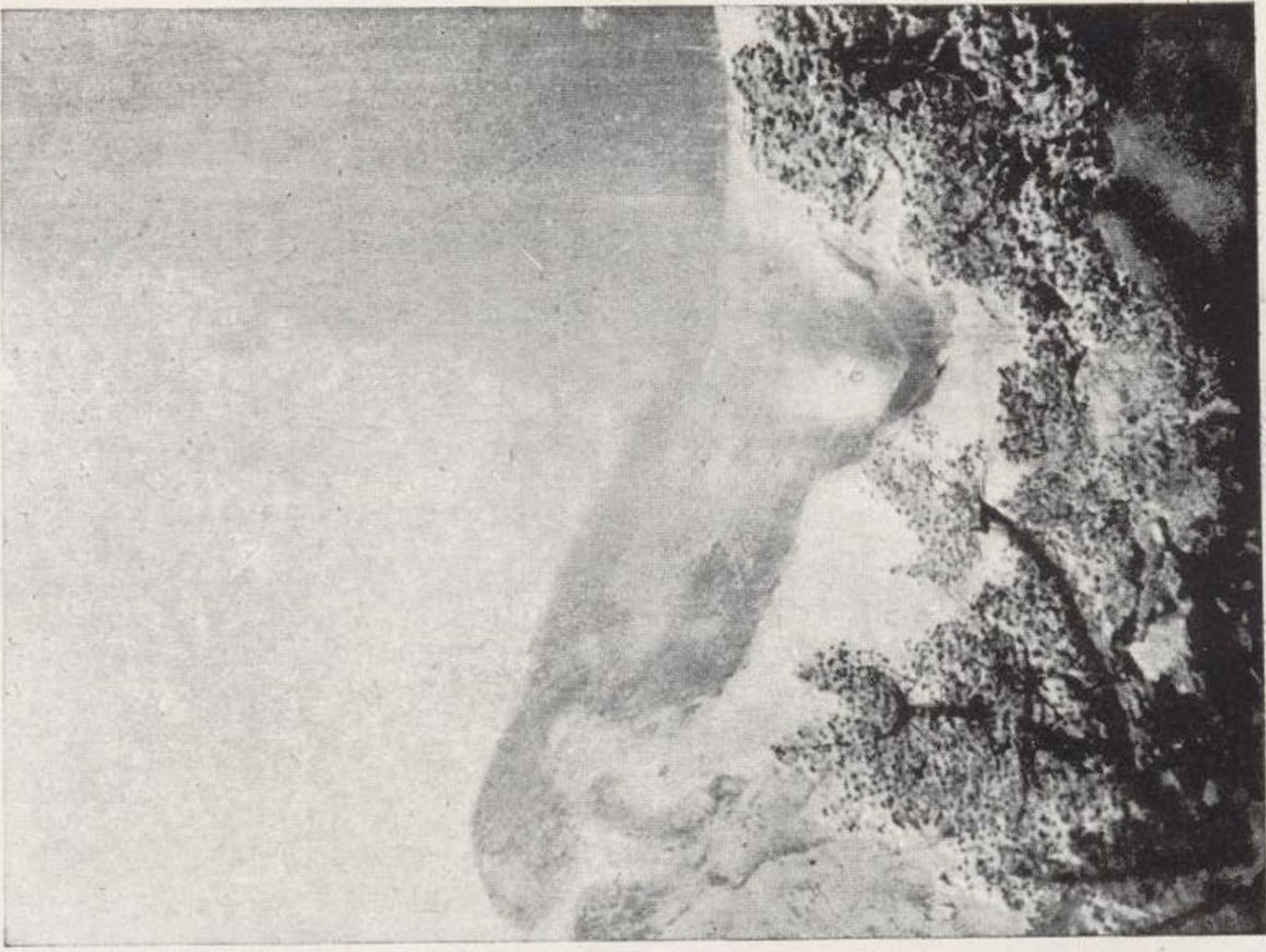


Fig. 38.—Lluvia de cenizas.





a que volaba el avión sobre la fumarola del Hoyo Negro, es fantástica, alzándose las columnas de humo en término de inenarrable grandiosidad». Este reportaje aéreo ha sido proyectado cuando escribo estas líneas, pero puede asegurarse que de haber volado sobre las auténticas cenizas del volcán, las narraciones hubieran sido muy diferentes, guardando, en tal caso, mucha analogía con las de un periodista estadounidense que voló sobre el Paracutín, a quien los gases y el calor sofocante le llamaron, sobremanera, la atención.

Afortunadamente, no hemos registrado alturas de tal magnitud, gracias a lo cual hemos permanecido, relativamente tranquilos, pues si los gases y vapores hubiesen tenido tal fuerza expansiva, habría, quizá, desaparecido toda la cumbre, y se hubiese edificado un gran cono con su cráter terminal, por el cual se hubiese derramado la lava. Felizmente, los fenómenos han sido de menores proporciones, lo cual no resta un ápice a la real importancia que han tenido. En el Paracutín, ya citado, que hasta el 24 de junio era el volcán más joven del mundo, la columna se elevó a 200 metros. Le ha superado, considerablemente, en altura el que ahora consideramos.

Las columnas no terminaban abriéndose en forma de pino o de paraguas, como en otros volcanes, sino que afectaban una forma berrocosa, aborregada, con alguna semejanza a una «coliflor», la clásica que citan los vulcanólogos y que puede observarse en algunas de las fotografías anteriores y, singularmente, en la figura 36, donde se halla rodeada, la parte inferior, por una aureola fumarólica. En primer término, en la montaña de la izquierda, puede verse un hundimiento. Su composición interna, variable con el transcurso del tiempo, era la siguiente, inicialmente: bastantes fragmentos de la caja que cayeron hasta

cerca de un kilómetro de distancia, y cenizas, o sea aren y polvo volcánico; pero en seguida comenzó a enriquece se en estas últimas, además de los gases sulfuroso y sulfú drico, en pequeña proporción, con otra mucho mayor vapor de agua.

Este último, no ha faltado incluso en las erupciones c nubes, como se observa en las figs. 31, 34 y 36, en las q aparecen éstas más o menos arrastradas por el vient pero con aureola fumarólica en primer término. Aun mayor en la fig. 37, fotografía que ha sido tomada con v locidad lenta, para que puedan observarse las trayectori de los mayores materiales sólidos extrusados, según l curvas parabólicas más visibles hacia el SE. de la foto, como la estratificación de que hemos hablado.

El día 14, o sea dos días después de su nacimient sobrevino una lluvia de cenizas que cubrió grandes exte siones. También lanzó algún material incandescente, p que se produjo el incendio de un pinar, observándose es día 14 que existían tres grietas al oeste del Hoyo Neg que conservan cierto paralelismo con las cúspides. Es acredita que esta alineación, orientada hacia el Norte, una zona de debilidad, tema que trataremos más adelant

Prosiguiendo con la lluvia de cenizas, consignarem que duró tres días, cubriendo todo el horizonte visible un color gris, bastante oscuro, llevando consigo una qu tud, no exenta de tristeza y melancolía, que dejaba s penso el ánimo en un silencio superior al de una copio nevada. La fig. 38 muestra algunos pinos de la hondona del Hoyo Negro cargados de cenizas, que parecen alm dros en flor. Unos claveles rojos que lucían al aire la luj riosa vegetación de aquel clima privilegiado, en la terra de nuestro hotel, nos hicieron meditar sobre la vida co fenómeno bifásico. Lo peor del caso, es que también m

ría el tabaco y la huerta, y..., que el ganado se negaba a pacer, y que todo ello creaba un problema económico, que traía a los pueblos y a sus autoridades locales, otra angustiosa preocupación. Pese a las precauciones, un polvo finísimo, negruzco, penetraba en las habitaciones, haciéndonos imposible el trabajo sobre cuartillas y mapas. Igualmente, se depositaba en el rostro, introduciendo cambios grotescos en la fisonomía.

Cuando nos hallábamos en plena lluvia de cenizas, fuí participe de una escena que me permite exponer ahora algunas ideas relacionadas con este fenómeno. Se me presentó un electricista de El Paso, manifestándome que había recibido una pequeña descarga eléctrica en la antena de su receptor radiofónico. Me rogaba mi opinión sobre el peligro, las medidas aconsejables, etc , y, algo extrañado, me manifestó que apenas había oído la emisión de Radio Club de Tenerife. Todo ello era natural y previsible. Cuando desde la tierra hasta una considerable altura hacia el cielo, todo está gris, como entonces sucedía, es de suponer que todavía a mayor altitud existe polvo volcánico, que en condiciones atmosféricas normales, se niega a caer. El polvo finísimo lanzado con las cenizas del Krakatoa se elevó a 80 Km., permaneciendo en la estratoesfera casi tres años. Ello es debido, a mi juicio, a que debemos considerar a una nube de polvo volcánico como un verdadero coloide, en que el polvo constituye la fase dispersa y el aire atmosférico la fase de dispersión; coloide que se sostiene como aerosol porque cada partícula tiene una carga eléctrica y sólo se deposita —se coagula, en los hidrosoles corrientes— cuando pierde su carga eléctrica. Sabido es que se trata de un hecho experimental, que ha conducido a diversas aplicaciones. Colocando en una cámara de Wilson una sal radioactiva, los iones producidos

por la colisión de partículas  $\alpha$ , son centros en los cuales se condensa el agua. Cada partícula deja a su paso una estela de iones, que se puede fotografiar. Lo propio sucede con las micelas cineríticas, que en plena quietud entrarían en movimiento browniano sin sedimentarse, hasta que perdido su potencial eléctrico, por causas diversas, se ven obligados a ello. La consecuencia es que, por dichas causas, la atmósfera estaba ionizada, constituyendo una pantalla para el paso de las ondas radiotelefónicas. Produjeron, también, una pequeña carga eléctrica en la antena del electricista, y ante tanta anomalía no quedó tranquilo hasta que, por mi consejo, puso su antena a tierra.

Este hecho de la pantalla eléctrica es el mejor experimento para juzgar la altura alcanzada por el polvo. visible condensado en forma de nube, según la información del Observatorio de Ipiña, en Tenerife, que figura en el Diario del volcán, ha debido alcanzar una altura de cinco kilómetros, y el que sólo da un tono difuso, el verdadero coloide, según la relación entre los volúmenes de las micelas, es posible que haya pasado de los 20 ó 30 kilómetros. Son arrastradas por el viento a grandes distancias, como se sabe, pero su precipitación solamente se produce cuando sirven de núcleo de concentración de una gotita de agua, que luego se suelda a otras, hasta que adquiere peso para vencer la acción de la gravedad en forma de lluvia, más o menos barrosa. Es lástima no saber dónde habrá caído, porque su identificación con el microscopio sería sumamente fácil. Es de suponer que habrán descendido o descenderán en muchos sitios, pasando inadvertida su caída, por su gran dispersión.

En la isla de La Palma fueron arrastradas por el viento a más de 100 Km. de distancia, sufriendo dicha gran dispersión, y apenas aumentó la visibilidad, el mismo día 1

pudimos observar otro fenómeno curioso. En vano deseábamos investigar la relación que, en vista de la dirección de las grietas o fracturas, suponíamos debía existir entre las erupciones sólidas de Hoyo Negro y la líquida del Llano del Banco, hipótesis que era abonada por el hecho de que cuando comenzó la erupción de lava en el segundo, cesó la actividad del primero. Las cenizas y la topografía del terreno impedían la observación simultánea de ambos fenómenos. Cuando cesó la lluvia de cenizas y pudimos vencer algunas dificultades, nos fué posible comprobar que, en efecto, existía un ritmo de largo período, de varias horas, entre las dos erupciones. En la madrugada del día 17 era claramente perceptible, desde El Paso, la considerable crecida experimentada por el río de lava, mientras que el Hoyo Negro casi había cesado en su erupción. Esta alternativa se repitió varias veces, y con ella se encendía una luz a la esperanza, pues existía la posibilidad de que toda la lava fluyese por la boca del Llano del Banco sin causar nuevos daños, y así lo manifesté en mi información telegráfica. Este cráter era, en tal hipótesis, algo así como un horno metalúrgico que tenía su chimenea a unos tres kilómetros de distancia y a 500 metros de altura. Así sucedió hasta el día 26, en que cesó la erupción de lava, esto es, durante más de nueve días, y así era razonable que hubiese terminado, si la contingencia imprevisible de los movimientos sísmicos, no hubiesen obligado al Duraznero, que llevaba 22 días en fase postvulcánica de exhalaciones gaseosas con vapor de agua, a entrar en el breve paroxismo de unas horas, en las que arrojó una corriente de lava, que resulta insignificante al lado de la extrusada por el Llano del Banco. Los últimos reconocimientos nos han revelado que, en efecto, las grietas más largas representadas en la fig. 1, que parten de Hoyo Negro, se en-

cuentra en íntima relación con el cráter del Llano del Banco, y que nuevas y grandes grietas de la misma dirección de las que examinamos primeramente, dirigidas, generalmente, de Norte a Sur, enlazan la totalidad de los cráteres del Duraznero con el Hoyo Negro, pues en las arquitecturas volcánicas las piezoclasas determinadas por los esfuerzos tectónicos, no conservan la regularidad que pueden lograr en las formaciones sedimentarias, por lo cual los tres cráteres debían hallarse en comunicación interna.

También en la erupción del Hoyo Negro hemos observado que con intervalos de unos minutos se producían pequeños relámpagos —en su mejor acepción, los que saltan de nube a nube— casi horizontales, dentro de la masa negra, de las columnas que, por consiguiente, no resultan atribuibles ni a explosión de bombas volcánicas —que también han existido— ni al rastro luminoso que deja un trozo de roca de la caja incandescente o de una escoria. Tampoco cabe pensar en un desprendimiento de hidrógeno o metano, que no han sido exhalados, porque no se ha visto llamas, ni el análisis del gas los ha acusado, ni mucho menos considerarlos como un efecto fotoeléctrico, como consignan algunos autores, ya que éste es el que produce algunos metales o sus sales y ciertos gases, cuando se les expone a la acción de los rayos X, de los ultravioleta también de los visibles, en cuyos casos producen una emisión de electrones. Pero en el volcán, era de noche y no debía existir ninguna radiación excitadora. Siendo la trayectoria un poco inclinada hacia abajo, descendente o casi horizontal, tampoco cabe pensar en ninguna excitación atómica de corpúsculos por rozamientos a gran velocidad que tampoco debe ser, realmente, extraordinaria. Por todo ello, tal vez pudiera tratarse de un fenómeno de triboluminiscencia, en el cual existe una emisión de radiación

características para una sustancia sometida a intensas acciones mecánicas: un choque fuerte, pulverización en un mortero, etcétera.

La ascensión al cráter de Hoyo Negro es bastante penosa, porque sus laderas se hallan cubiertas por detritus volcánicos con una gran proporción de polvo finísimo cinerítico, en el que, a veces, se hunde el caminante hasta por encima de las rodillas. Además, si el viento no es favorable resulta obligado protegerse convenientemente. En el Llano de la Barquita ya comienza a ser fatigosa la subida y en el Llano del Agua alcanzan las cenizas una altura de 30 ó 40 cm. (fig. 46). En esta fotografía pueden observarse algunos trozos o fragmentos de la caja lanzados por el volcán, a unos 400 metros del mismo, con tamaños hasta de 40 cm.; así como una de las grietas o fallas que se dirige hacia el Llano del Banco, que se halla casi rellena de polvo, pero bien perceptible por su salto.

El día 2 de agosto el cráter, de forma elíptica (fig. 31a), tenía una profundidad superior a 100 m., con un diámetro mayor de unos 300 m., y el menor de unos 250 m. En el fondo no existían más que dos chimeneas con una caldera común, de la que salían gases y vapores algo sulfurosos.

El cráter, ensanchado y volado por la erupción, ha puesto al descubierto los deleznable materiales de un cono de cenizas antiguas, que se estaban hundiendo por una erosión eólica. El viento mueve el polvo en sus remolinos, que agitan también a las piedras, de modo análogo a la producción de las «marmitas de gigantes» en la erosión fluvial, con lo cual los bordes del cráter van desapareciendo. Algunas personas aseguran que estos hundimientos han llegado a ser audibles en la ciudad de El Paso, y no es necesario ponderar la importancia que han de tener cuando se presenten las primeras lluvias.

#### 4) La fase postvulcánica

A fines de noviembre de 1949, el Llano del Banco continuaba arrojando humos blancos, ricos en vapor de agua. El Duraznero exhaló el 18 de dicho mes más cantidades de gases y vapores que en ningún otro día después de la erupción. Al amanecer, arrojaba grandes humaredas negras, pero a las diez de la mañana comenzaron las exhalaciones blancas. Se han producido nuevos y pequeños hundimientos en los bordes del cráter, que no han afectado al Llano del Agua, pero en el Llano de la Barquita, profundamente agrietado, se observaron también hundimientos, fenómenos que continúan produciéndose cuando terminamos este informe (febrero, 1950). Han existido, también, ruidos subterráneos y sismos de pequeña intensidad. El día 4 de diciembre, el único cráter con solfataras era el Duraznero.

La causa principal del retraso de este informe es porque deseábamos consignar en él los efectos producidos por las primeras lluvias, siendo de temer su carácter catastrófico, toda vez que la lava ha corrido por las vaguadas obturando los cauces naturales, y los elementos detríticos y sueltos depositados han llegado a cambiar, también, la topografía.

La información, que debemos al Sr. Pino, alcalde de El Paso, ha confirmado tales augurios. Comenzó a llover el 28 de noviembre, descendiendo la temperatura a 15 ó 16° por el día y 10 a 11 por la noche. La lluvia es general, procedente del Oeste, que son las mejores para la agricultura, pero con ellas una gran cantidad de cenizas se ha precipitado hacia las zonas bajas, produciendo daños en el puen-

te del barranco de las Goteras, que amenaza ruina. La carretera ha quedado interrumpida desde el Km. 35 al 42, impidiendo el transporte de expediciones de frutas, valoradas en más de un millón de pesetas. El día 1.º de diciembre, cuando la carretera había sido parcialmente reparada después de ímprobos esfuerzos, por todas partes descendían masas barrosas y de piedras hasta con 5 ó 6 m. de altura, que produjeron un quintuplo de daños, con relación a los anteriores. Las herramientas de trabajo se las llevaron los aludes arrastrando el ganado e, incluso, algunos obreros. Saltó por encima del puente del barranco Tamanca, derribó los muros que bordean la carretera en el puente del barranco de los Hombres, dejando sobre amplia zona de la carretera dos metros de escombros y destruyó, completamente, el puente de las Goteras. También deshizo una alcantarilla y borró en algunos sitios el trazado de la carretera.

Se ha dado el caso de que cuando este aluvión ha podido correr por el malpaís de la erupción, ha rellenado todos sus huecos, habiendo quedado el terreno como el de huerta.

La finura de la ceniza hace que sea impermeable en algunos sitios, resbalando el agua sobre ella, pero por el contrario, cuando se logra un amasado, es tan espeso y tan duro que para removerlo es preciso el empleo del pico.

Los mayores daños han ocurrido dentro de la zona pleistósica señalada en la fig. 50.

## VI. RASGOS DE LA ERUPCIÓN

Siempre resulta interesante formarse idea de la cantidad de materiales extrusados, idea aproximada, claro es, aunque puede acercarse más a la realidad porque disponemos del levantamiento topográfico de toda la corrida (fig. 22). El espigón que ha formado en el mar tiene una anchura de 1.100 m. en la costa antigua, y de 1.300 en su parte más ancha, paralela a la costa, cuyo espigón penetra en el mar 750 m. por su punta terminal. La pendiente media de la costa, hemos dicho antes que tiene por valor, aproximadamente, 7 %, de manera que a 750 m. le corresponden 52,5 m. de profundidad, cifra deducida, pero con la que están de acuerdo algunos pescadores de aquella región, mientras otros la elevan a 60 metros. Admitamos 53 m., y suponiendo una pendiente uniforme, podemos asimilarla a un prismaoide. Su volumen resulta ser de 12.300.000 metros cúbicos (\*). La corrida de lava tiene 7.500 metros de longitud y una altura media de 4 m., con lo cual, tal vez calculando por defecto, llegamos a un volumen de 10 millones de metros cúbicos. El volumen total resulta, por

---

(\*) Todas las operaciones aritméticas de esta Memoria han sido realizadas con la regla de cálculo.

tanto, de 22.300.000 m. cúbicos. Este es el volumen aparente, que cubre 250 Ha. en el terreno y 83 Ha. ganada al mar, pero para obtener el volumen real, tenemos que descontar los huecos. Se ha observado en regiones vulcánicas basálticas que, con el tiempo, dicho volumen se reduce a la mitad del primitivo, lo que, por otra parte, se halla de acuerdo con lo que, por experiencia, sabemos acerca de los vacíos que quedan entre las piedras de gran tamaño cuando se amontonan, de manera que llegamos a la consecuencia de que por el cráter del volcán han salido unos 11,15 millones de metros cúbicos de malpaís y lava. Como la erupción ha durado 444 horas, el gasto horario ha sido de 50.225 metros cúbicos, o bien 837 por minuto, 13,95 por segundo.

La cantidad de los restantes materiales sólidos lanzado por el Duraznero y el Hoyo Negro, es sumamente difícil de calcular, porque los más pesados han caído en terrenos vulcánicos antiguos, con los que se confunden. La fig. 39 da idea de un campo de detritus del Hoyo Negro, en el que los pinos aparecen con sus ramas cortadas, no restando de muchos más que el tronco, y de otros no queda más que un tocón enterrado, cuando no han sido eliminados totalmente. Aparte de los incendios que los destruye, hay que añadir la acción mecánica de las piedras lanzadas, que al caer desgajan las ramas, e incluso la desaparición de muchos de ellos arrastrados por la lava o sepultados en los hundimientos. Algunas piedras de 50 cm. han sido enviadas a más de 800 m. de la boca, y ya más lejos de ésta, encontramos una inmensa mayoría de lapilli y cenizas hasta de 3 ó 4 centímetros, generalmente en trozos angulosos, muchos de fractura concoidea, sin que falten algunos de 25 centímetros y hasta de 50 cm., de superficie rugosa y bañados por la lava, así como de textura escoriácea.

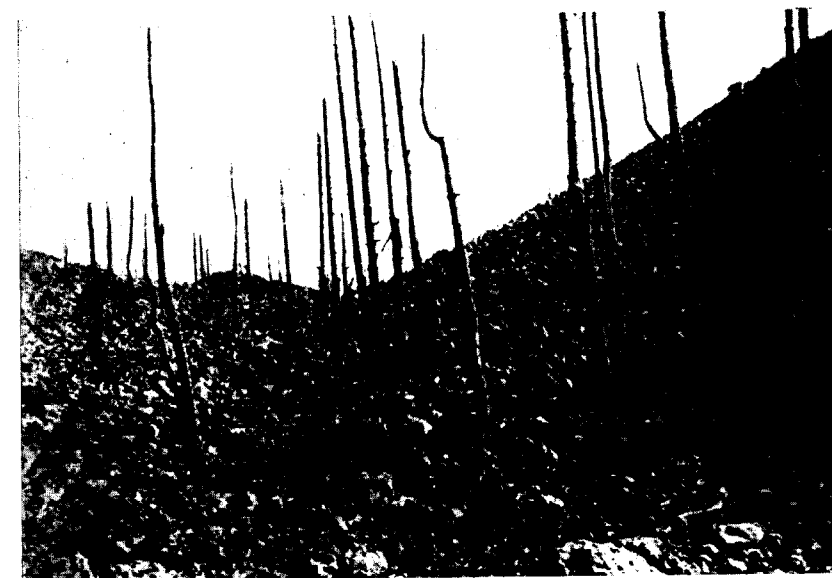


Fig. 39.—Campo de detritus del Hoyo Negro.

Foto Benítez.



Fig. 40.—El Duraznero emitiendo gases y vapores.



Fig. 39.—Campo de detritus del Hoyo Negro.

Foto Benítez.



Fig. 40. — El Duraznero emitiendo gases y vapores.





En la figura primera hemos tratado de representar las zonas cubiertas por trozos de rocas y escorias procedentes de los cráteres del Duraznero, así como la de cenizas de dicho volcán y del Hoyo Negro, en la que aquéllas alcanzan una altura mayor de 20 centímetros.

Puede lograrse la determinación aproximada de las cenizas caídas durante la lluvia cinerítica en toda la isla y en buena parte del mar, cifrando la superficie en unos mil kilómetros cuadrados. En el cráter alcanzó 70 cm., pero admitiendo solamente 3 mm. de altura media, resulta de 3.000.000 de metros cúbicos. Seguramente, mucho más del doble fué arrastrado por el viento, ya que pasaron por el Teide y desaparecieron de vista a 100 Km. de distancia, según el Observatorio Meteorológico de Ipiña, de manera que pueden estimarse en unos 10.000.000 m.<sup>3</sup> las cenizas lanzadas en tres días, o sea 3.333.333 metros cúbicos diarios; 139.000 por hora; 2.320 por minuto, o 38,8 por segundo, de volumen aparente.

Para el cálculo de los restantes elementos sólidos extrusados, hemos de tener en cuenta, que solamente de los cráteres de Duraznero y Hoyo Negro han desaparecido más de 10 000.000 de metros cúbicos, por lo cual, no parece aventurado estipular para los 14 días de actividad del Duraznero, hasta que apareció la lava en el Llano del Banco, y para los seis días (descontados los tres de lluvias de cenizas) de Hoyo Negro, o sea en total 576 horas, un gasto análogo, cuando menos, igual al de la erupción lávica (50.225 metros cúbicos por hora) o sea unos 29 millones de metros cúbicos, con lo cual tenemos la garantía de que calculamos por defecto. Resumiendo los resultados obtenidos, llegamos a la totalización siguiente:

Malpaís y lava del Llano del Banco . . . . .	22.300.000	metros cúbic	
Lluvia de cineritas de Hoyo Negro . . . . .	10.000.000		--
Restantes materiales sólidos del Duraz-			
nero y Hoyo Negro. . . . .	29.000.000	--	--
Malpaís y lava del Duraznero. . . . .	400.000	--	--
TOTAL . . . . .	61.700.000		--

o sea unos sesenta y dos millones de metros cúbic como mínimo.

\* \* \*

Hemos tratado de investigar si existía alguna relación entre la presión barométrica y la actividad volcánica, pu en cuanto a la temperatura, sabido es, que ofrece poc variaciones en las islas Canarias. Según afirmaban Falb Perret, los volcanes presentan crisis en las horas de mír ma barométrica diaria, o sea a medianoche y a mediodí En La Palma, no parece haber sucedido nada de esto, sir que las grandes mutaciones observadas, no han coin dido con ninguna de esas horas, como se desprende d Diario.

La depresión barométrica puede tener influencia en altura de elevación de solfataras y de cenizas, mejor cho, de polvo volcánico, pero no de trozos de rocas, bo bas, etc., pues por muy a la ligera que se efectúe un ta teo matemático de las presiones reinantes en el interior la Tierra, se llega a valores, para los que nada represent unos cuantos milímetros de mercurio de depresión en atmósfera. Se estipula que una variación de un centímet de mercurio, modifica el peso de la atmósfera en 0,01 kilogramos por centímetro cuadrado. Ya veremos que pa romper el equilibrio estático hace falta una presión intern de más de unos 12.000 Kg. por centímetro cuadrado.

En cambio, han sido notables las perturbaciones mag- néticas, con su pernicioso influencia en nuestras brújulas.

\* \* \*

Las emanaciones gaseosas, pueden observarse en mu- chas de las fotografías que acompañamos, en las que apa- recen como nubes blancas, y como ejemplo más notable, las del Duraznero en la fig. 40. Existen en el terreno algu- nas zanjas y hoyos que expulsan fumarolas acuosas, con escasa presión.

Parece ser, que como ha sucedido en otros volcanes, al comienzo de la efusión ha predominado el ácido clorhídri- co, por las incrustaciones de cloruro amónico que hemos encontrado en algunos fragmentos, que debían proceder de la caja. Después se presentó en el Duraznero y Hoyo Negro el sulfhídrico, algo perceptible en las proximidades del volcán, así como el sulfuroso, en zona de mayor dis- persión. El primero ha dejado pequeñas manchas de azu- fre, como hemos reseñado, por su reacción con el vapor de agua, tan conocida, que no creemos necesario reseñar- la. Todo ello, se ha producido en escasa proporción, y no han existido hidrocarburos productores de fenómenos lu- minosos. En cuanto al anhídrido carbónico, no ha existido durante nuestras observaciones, y ya nos informaremos de si, al final, se ha producido alguna mofeta.

La erupción, en general, ha sido bastante seca, com- probando esto, en cierto modo, que el fenómeno no tenía un foco excesivamente profundo. Ni en las columnas de negro intenso, ni en las solfataras, el vapor de agua ha sido tan abundante como en otros volcanes. Gracias a ello, su difusión en la atmósfera ha sido fácil, y no se ha producido ninguna condensación, que hubiera ocasionado

lluvias con fango, arrastrando cenizas y creando complicaciones, que no han existido.

Otra particularidad: probablemente será el volcán mundo que ha tenido mayor velocidad del torrente de la Es frecuente medirla en metros por minuto, para con guir números enteros, mientras que en nuestro volcán podido medirse en metros por segundo, como las corrientes fluviales. Es debido, como hemos dicho, a la topografía del terreno y a la naturaleza, tan flúida, de la lava.

Por la cantidad de materiales arrojados, puede considerarse como una erupción de bastante importancia. Vesubio, pese a su nombre conquistado por su historia, arrojó, en la erupción de 1538, más que 40 millones metros cúbicos; en 1872, 20 millones, y en 1895, 50 millones; pero, estos últimos, de lava solamente. Claro es, ha tenido erupciones mucho más importantes, y en ellas la de 1906, con unos 216 millones de metros cúbicos de materiales.

\* \* \*

No deja de ser curioso que el Duraznero haya pasado de un período solfatárico de extinción, al derrame lávico de un día, lo cual demuestra una comunicación oclusión con la chimenea del volcán, que luego volvió a abrirse. olvidemos tampoco que el Hoyo Negro, cuyos preparativos, con grandes columnas densas y negras, hacían temer que pudiera salir la lava, máxime cuando el 28 de junio el 6 de julio lanzó materiales incandescentes, demuestra la proximidad de aquélla; se ha limitado a esparcir mucha ceniza y materiales sólidos, que rellenan las depresiones de aquel lugar. Interpretamos esta anomalía, suponiendo que un hundimiento superficial creó una resistencia a

salida de la lava, que la tensión de los gases y vapores no pudo vencer, siéndoles más fácil encaminarse por otra fractura, ya preparada, a lo largo de un dique hacia el Llano del Banco, y a 500 metros más bajo, por donde salió con toda facilidad, después de minar todo su cauce interno, durante un período de trabajo de varios días.

Por último, es también notable que esta última boca no haya edificado su cráter, pues por tal debe entenderse la construcción resultante y edificada por el propio volcán, lo que, como sabemos, ha sido debido a la configuración topográfica y a que la lava saltaba a la ladera opuesta de un barranco de gran pendiente, y sin lanzar detritus para poder construir un cono. También la propia naturaleza de la lava ha contribuido a ello, porque la mayor parte de su energía mecánica, debida a los gases y vapores, se ha consumido en los lanzamientos sólidos de Hoyo Negro, y cuando vió la luz por el Llano del Banco, apenas si contenía ninguno. Por esto, no se registraban explosiones a lo largo del cauce, debidas a la propia lava.

Si el Hoyo Negro hubiese edificado su gran cono de detritus, y en él se hubiese construído un cráter, colmándolo, rebasándolo o rompiéndolo, con una lava tan flúida, el resultado hubiese sido muy diferente y, desde luego, más trágico. Ni un meteoro acuoso ha perturbado ningún día la marcha natural de los fenómenos, creando complicaciones de lluvias fangosas, arrastres de barro, etc., etc. Ha causado grandes destrozos, pero tanto por su ímpetu, como por el volumen extrusado, han podido ser mucho mayores. Sin duda, por ser el volcán de San Juan, ha sido el volcán de la suerte.

## VII. HIPOGÉNESIS DEL VOLCÁN

### 1. Conceptos generales

De acuerdo con las ideas expuestas, si nos hallásemos en un terreno virgen de vulcanismo, podríamos argumentar del modo siguiente: la temperatura de la lava basáltica, como hemos dicho anteriormente, es de unos 1.200° centígrados. En el interior de la Tierra, en el momento de formarse el magma, la temperatura puede admitirse que sea de 1.500° C. Con un gradiente de 30 m., esto se consigue a una profundidad de 45 Km., en cuyo punto la presión gravitacional de las rocas, de una densidad igual a 2,8, tiene un valor de 12.600 Kg. cm.<sup>2</sup>. Imaginemos que por un empuje orogénico, por una falla, por ejemplo, este punto se pone en comunicación con la atmósfera, restableciendo en el interior la presión atmosférica. Sea cual fuere la teoría que aceptemos, es indudable la existencia del vapor de agua en el magma. En La Palma, aunque no predominantemente más que en las fumarolas, se mostraba en ellas con tal abundancia que al tomar las muestras se condensaba en el recipiente y en los aparatos de succión. En el Vesubio se ha determinado que el vapor de agua, en volumen, es siete veces mayor que el de los materiales sólidos.

dos extrusados. Aun en las rocas profundas encontramos minerales hidratados. Pues bien; el volumen específico un kilogramo de vapor de agua es, según la ley de Mariot y Gay-Lussac,

$$V = 4,543 \frac{273 \cdot t}{p}$$

siendo  $t$  la temperatura y  $p$  la presión. Si sustituímos valores, encontraremos que el volumen de vapor,  $q$  antes valía 0,63 litros, tan pronto como se establezca presión atmosférica se hace 12.800 veces mayor y tiene que ocupar 8.064 litros, con lo cual basta para pensar que provoca una explosión. Por lo demás, en profundidad producirán los fenómenos inherentes a las nuevas condiciones físicas de una temperatura de 1.500° C., y la presión atmosférica. La materia entrará en fusión y se producirá un magma. Lo propio que sucede con el vapor de agua, ocurrirá con los demás gases y vapores existentes, la consecuencia será que peligra el equilibrio estático,  $q$  el exceso de presión de los gases producirá fracturas en las partes débiles situadas en la cobertera, por las cuales precipitarán para alumbrarse al exterior. Ya se habrán percibido los sismos precursores de la acción volcánica.

Al cabo de un cierto tiempo, más o menos largo, arrastrarán consigo fragmentos de rocas de la caja, ya dividida y cortada por una acción mecánica favorecida por el gran poder abrasivo de los gases y vapores, y por los hundimientos que, a su vez, producen terremotos locales. Arrastrará también cenizas, lapilli, escorias, etc. Después, transportarán con ellos la lava y, por último, saldrán al exterior las exhalaciones gaseosas y vaporosas, ya más frías,  $q$  pudieran quedar en la cámara, hasta que, finalmente,

restablece el equilibrio entre las presiones interna y externa. En la superficie habrá aparecido un volcán, con todas las etapas reseñadas.

De esta manera pudo ver la luz el volcán de La Palma, de un modo tan natural como la anterior teoría que le explica, y con ello creo dejar, de nuevo, bien probada, la influencia que debe concederse al vapor de agua.

Puede decirse que ésta es una idea simplista del vulcanismo, pero también puede contestarse que la ciencia progresa merced a la simplificación que efectúa de los fenómenos. Ignoramos el mundo real y hemos de contentarnos con el mundo de nuestra representación. Si Newton no hubiese considerado a los astros como puntos matemáticos, tal vez no conociéramos la ley de la gravitación universal. Hasta que Einstein y Smoluchowski, por separado, no tuvieron la concepción feliz de considerar a las partículas sólidas, pasadas, de las soluciones coloidales, como moléculas gaseosas, para poderles aplicar la teoría cinética, se ha estado ignorando la ley del movimiento browniano, que la experiencia ha comprobado. Los ejemplos son tan numerosos que no es necesario insistir. El investigador capta relaciones, que ennoblecidas por la autorreflexión, se transforman en leyes, y sólo el vulgo, sin respeto a los límites del conocer, puede creerse dueño de la realidad.

Para mayor sencillez, hemos supuesto que la falla alcanzase a una zona premagmática, pero basta con que en ella pueda crear una descompresión para que la materia entre en fusión, según admiten todas las teorías actuales sobre la formación de los magmas. Lo propio sucedería si experimentase un aumento de temperatura, según hemos dicho, pero como éste resulta difícil de justificar, se acude a las acciones tectónicas, de más fácil explicación. Si la

falla no repercute a tal profundidad, se tendría un terremoto sin vulcanismo. Un volcán sin terremoto, resulta teóricamente imposible, como realmente sucede.

Podría objetarse que son de difícil concepción mental las fallas de 40 ó 45 Km. de profundidad. En efecto, debe ser raras, pero por ello mismo son escasas las zonas vulcánicas de la Tierra, que se hallan geográficamente emplazadas a lo largo de cordilleras modernas, en las líneas de intensa fracturación, como saben todos los geólogos. En el interior de los continentes bien consolidados, no existen volcanes, porque es difícil la producción de tales fallas.

Obsérvese, que no se trata de resucitar la teoría de Oldham de principios de siglo, pues este vulcanólogo admitía, hipotéticamente, que se producen cambios considerables en el volumen de grandes masas de magma a centenares de kilómetros de profundidad, cambios que tienen lugar bruscamente y a manera de explosiones, originando no solamente los terremotos, sino fracturas en la región superficial de la corteza terrestre. O sea, que la explosión era causa de la fractura, mientras que en la teoría que acabo de exponer resulta, precisamente, todo lo contrario: la fractura es la causa de la explosión.

Algo análogo sucede con las ideas acerca de los movimientos sísmicos. Los geofísicos hace tiempo que discuten el siguiente dilema: ¿La fractura es el resultado del terremoto o el terremoto es la consecuencia de la fractura? La mayor parte de los geólogos y sismólogos admiten, actualmente, lo segundo, como premisa principal para sus razonamientos e investigaciones. Aducen muchas razones pero, a veces, se olvida la fundamental. Todo dimana de la energía potencial gravitatoria de la zona cortical de la Tierra, por la adaptación de la corteza al núcleo, y cuando cae una piedra desde lo alto, produce ondas sísmicas, so-

noras, caloríficas y hasta luminosas, pero también deja un hoyo en el suelo, por haber vencido la resistencia elástica del mismo. Nadie duda que sería bizarro preguntar ¿Las radiaciones, son resultado de la deformación o el hoyo es consecuencia de aquéllas? Claro es, que con radiaciones también podemos abrir hoyos, porque la radiación es una forma de la energía, pero entonces nos olvidamos de la piedra, que es la causa principal. La deformación es la que, como secuela del choque, produce la radiación, en sus múltiples formas. Sin deformación elástica en una campana, no se produce un sonido, el cual sigue al choque como el lamento sigue al dolor. Una deformación brusca termina en una fractura, una falla, cuyo desplazamiento, una vez vencida la resistencia elástica de las rocas, origina un terremoto, por el rebote elástico de sus labios, esto es, por la acumulación lenta y la liberación rápida de la energía. Esto en cuanto a los terremotos tectónicos, pero en el caso particular del vulcanismo, la falla profunda no libera solamente energía sísmica, sino también energía explosiva, por así decirlo, que a su vez produce nuevas fisuraciones o fallas más superficiales y nuevos terremotos parciales que afectan a zonas reducidas.

No debe deducirse de aquí que siempre que se produzca una falla que alcance los 45 Km. de profundidad ha de nacer un vulcanismo juvenil, o sea un vulcanismo nuevo. Se establecerá, únicamente, cuando la presión interna pueda vencer a la externa, o sea, en términos generales, cuando la falla consiga una comunicación con la atmósfera o con una zona de menor presión, como el fondo del mar, por ejemplo.

El neopositivismo de la ciencia actual no admite que se debe —tal vez porque no se puede— contestar al ¿por qué?, ni siquiera al ¿cómo?; pero la geología, que tiene

mucho de dialéctica, no vacila en inquirir: ¿Por qué se produce esa fractura? o bien: ¿Cómo se origina esa falla? entonces hay que recurrir, claro es, al frondoso terreno la hipótesis, basada en la observación. Quedamos satisfechos con una explicación. La sobrecarga debida a la presión; el rebote elástico de Reid; el sial y el sima; el flujo plástico a profundidad, la isostasia, etc. Y cuando ello posible, no deja de comprobarse la hipótesis. Veamos cómo algunas de estas sugestivas y actuales ideas, pueden aplicarse, en minúscula escala, al caso que venimos estudiando.

## 2) Grado geotérmico

Ante todo, observemos que en nuestra isla, puramente volcánica, no sería admisible el gradiente térmico de metros. En el sondeo de Monte Massi, citado por todos los autores, que no llegó más que a 348 m. de profundidad, el gradiente fué de 13 m. y se dice que era influenciado por acciones volcánicas subterráneas, las cuales debían actuar en unos manantiales termales próximos al sondeo. Con este valor del grado geotérmico, los 1.200° C., pueden alcanzarse a 15.600 m. de profundidad. En el sondeo Neuffen, en Wurtemberg, de 385 m., se elevó la temperatura un grado por cada 10,35 m., suponiéndose que esto es debido al calor que cedía un basalto próximo. Con este valor, a los 12.300 m. de profundidad tendríamos en Palma 1.200° C. Finalmente, en Macholles, en Limagne cerca de fumarolas y de aguas termales, se halló a 1.160 metros de profundidad 79° C., o sea 14,16 m. por grado, lo que, aplicado a nuestro caso, nos daría una profundidad de 17.000 m. para la temperatura de 1.200° que venimos

admitiendo. En el vulcanismo viejo, no hace falta considerar presiones tan grandes como en el juvenil, según vemos.

## 3) Sismos volcánicos y tectónicos

No cabe atribuir la responsabilidad sísmica del volcán que estudiamos, a la adaptación gravitacional a gran profundidad de una considerable dovela cortical, porque la sismicidad no ha tenido graves consecuencias más que para algunos pueblos palmeros. Ha sido un fenómeno puramente local, sin trascendencia fuera de la isla. Por ello, sería inútil investigar alguna relación entre este acontecimiento y los muchos sismos que, en distintos lugares de la Tierra, han acontecido este verano.

Buscamos, por consiguiente, un origen más modesto a nuestros fenómenos, tanto por lo que la experiencia de otras erupciones nos dicta, como por lo que nuestra propia observación nos sugiere. En general, no se trata de sismos plutónicos, sino de sismos que acompañan siempre al vulcanismo, y que sabemos son superficiales porque su área, de acción intensa, se ha limitado a los cuatro términos municipales de Los Llanos de Aridane, El Paso, Fuen-caliente y Mazo. En las grandes alturas de las cumbres, donde se han localizado las bocas del Duraznero, del Hoyo Negro y Llano del Banco, así como en algunos poblados, han sido catastróficos, pero ni siquiera se han percibido en Tenerife. No quiere esto decir, ni mucho menos, que se haya tratado de meros sismos volcánicos, circunscritos a un área reducida de los alrededores del volcán, ya que, como veremos, consideramos, además, unos sismos tectónicos, si bien de pequeña profundidad hipocentral.

Es un principio general admitido en sismología, que

cuando el terremoto es intenso y afecta a una gran extensión, su hipocentro es profundo. Cuando en 1914 se produjo la erupción del Sakurajima, en el Japón, llamó grandemente la atención que, *después de unas siete horas media*, se produjese un terremoto que causó grandes daños en la ciudad de Kagoshima, situada a nueve kilómetros. Omori pudo probar que, en contra de lo que se venía admitiendo, no era un simple sismo volcánico, sino que tenía un origen tectónico, con su foco profundo y radicado en la proximidad, dándose el caso de que en la propia zona volcánica la intensidad fué menor. Opino que no hallamos ante un caso análogo, según procuraré demostrar.

Lo general suele ser que el área macrosísmica y microsísmica de los sismos volcánicos sea muy reducida, y aun que se produzcan terremotos intensos, se circunscriben a los alrededores del cráter. Muchos sismos importantes acaecidos en los volcanes italianos, no han sido registrados ni en las estaciones sismológicas más próximas. Pero nuestro caso, como el de Sakurajima, constituye una excepción. Se han producido grietas en construcciones en Paso, situado a ocho kilómetros del volcán, y en La Sabir y Lomo Oscuro, poblados que casi han desaparecido, situados a seis, y algo debe inducirnos la persistencia de los terremotos en Las Manchas y Jedey, también casi totalmente derruidos, a 6,5 Km. de distancia. En este poblado de Las Manchas se han derrumbado construcciones los días 27, 28, 29 de junio, el 2 de julio, y además se han percibido terremotos, con bastante intensidad, los días de junio, 7, 9 y 22, observándose con igual energía el sismo del 13 de julio.

Se han producido, como es natural, sismos volcánicos enjambres de terremotos — conservando la expresión de los vulcanólogos alemanes — que se traducían en las pro-

ximidades de las bocas del Duraznero y del Hoyo Negro en un constante temblor, cuyas sacudidas más fuertes, pero aisladas y espaciadas, se han sentido en los pueblos comarcanos como sismos débiles. La observación demues-

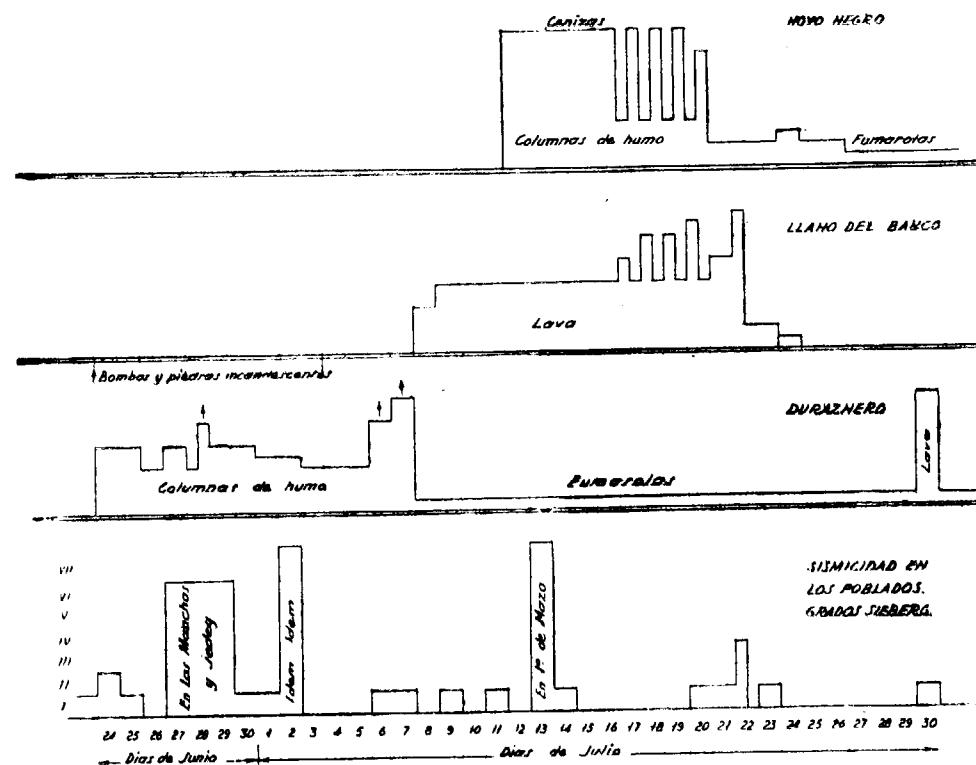


Fig. 41. — Sincronismo de los fenómenos volcánicos.

tra, sin género de dudas, que son debidos a explosiones internas, con grietas y hundimientos en la chimenea del volcán y en sus alrededores inmediatos.

Pero, además, lo frecuente en erupciones volcánicas es que el comienzo del lanzamiento de materiales eruptivos, o sea el nacimiento superficial del volcán, sea acusado por



terremotos de mayor intensidad que los de plena erupción y que se advierta alguna diferencia entre estos sismos los que debió producir el establecimiento de una fractura de ladera, como la del Llano del Banco. Algunos vulcanólogos opinan que a tales fisuras acompañan los sismos de mayor intensidad. En La Palma todos los fenómenos ocurrieron a la luz, sin que nada de esto haya sucedido. Es suficiente una débil preparación sísmica para poner en juego el vulcanismo. Los terremotos más importantes han presentado en plena erupción y sin relación alguna con el volcán, como puede verse en la fig. 41, en la que representamos, esquemáticamente, el sincronismo observado en la sismicidad con los fenómenos vulcánicos. Una larga experiencia demuestra que, si fuesen sismos vulcánicos, serían consecuencia inmediata de algún período eruptivo, porque tales sismos, que cabe considerar como secundarios, son debidos a explosiones y hundimientos ocurridos en la zona del volcán. Se sabe, además, que el hipocentro, o foco sísmico, está situado a escasa profundidad, no lejos de la chimenea principal del volcán, y muchas veces coincidiendo con ella. En nuestro caso hemos realizado, a veces, la misma observación. Cuando el Duraznero lanzó su lava el día 30 de julio, quedó truncada la tranquilidad sísmica de que venían disfrutando los pobladores durante seis días, y la erupción fué acompañada con un débil temblor de tierra, evidentemente vulcánico o sea secundario. La correspondencia entre la mayor actividad en la erupción lávica del Llano del Banco, el 22 de julio, y la sismicidad de dicho día, resulta evidente, y propio podríamos decir de todos los días en los que los terremotos han sido muy débiles.

Si admitimos que los primeros sismos intensos del 2 de julio pudieron preparar la mayor actividad del Durazne

en los días 6 y 7 de julio, es tanto como aceptar de plano la teoría expuesta en las páginas anteriores: la falla es causa del vulcanismo, porque si fuese un sismo vulcánico, esto es, una traducción de algún fenómeno vulcánico, debía ser simultáneo o debía seguirle, pero no precederle, y en esos días 6 y 7 hubiese sido mayor la sismicidad. El esquema antedicho revela que nada de esto último ha ocurrido. El sismo del 2 de julio tuvo consecuencias más catastróficas en los poblados de Las Manchas y Jedey que en la propia zona vulcánica, lo que constituye una nueva razón para considerarle como sismo tectónico. Exactamente lo mismo podríamos repetir con relación al sismo del 13 de julio, según revela la citada fig. 41. Fueron sismos intensos, con muchas destrucciones en La Sabina y Lomo Oscuro, pero sin ninguna traducción en el régimen del vulcanismo.

#### 4) Grietas y fisuras

Tenemos otras pruebas fidedignas. La existencia de una grieta (a, fig. 50), producida a unos 500 metros por encima del cruce de la lava en la carretera general del Sur, al Este del Km. 43 y a unos 20 metros al norte de la colada lávica, emplazada en terrenos de cultivo, cuyos propietarios han observado que desprendía mal olor; unos, «a farmacia», y otros, «a huevos podridos». De ella procede una muestra de los gases analizados, tomados después de la erupción, apreciándose entonces una gran cantidad de vapor de agua, que tal vez haya adquirido un olor empuerámico al destilar las raíces de las plantaciones. Esta grieta se halla dirigida E.-O., y en el mismo rumbo debía existir otra (d) en Las Manchas de Abajo, contigua al río

de lava, por la que se precipitó éste el día 20 de julio, rante una crecida, produciendo una explosión que c ternó a las pocas personas que se encontraban en las mediaciones. Cuando se consolide, será un dique, co los que nos presenta el vulcanismo antiguo de la isla. fractura se halla a unos 3,5 Km. del Llano del Banco, es la boca más próxima.

Existen otras grietas, con igual orientación, que ap cen en otros lugares distantes. El puente sobre el barra de Las Goteras, del kilómetro 39 (b) y la propia carret se hallan agrietadas en dirección E.-O. y en el «malpa cerca de dicha vía de comunicación, se observan profun grietas en la misma dirección. Más hacia el Oeste, en parte del barranco de Los Hombres (Km. 40), en un alto no de roca basáltica, existen dos grietas (c) de cuatr cinco centímetros de anchura y de unos tres metros longitud, apareciendo roto el basalto en dirección E.- Cuando escribimos estas líneas (26 de septiembre), to vía se perciben allí ruidos subterráneos, acompañad cuando son intensos, de movimientos sísmicos, algu de los cuales han sido de cierta importancia, puesto han derribado un pajar en días pasados. Téngase en cu ta que el vulcanismo se halla casi extinguido, y que e punto dista unos cuatro kilómetros del Hoyo Negro, es el foco volcánico más próximo. No parece que pu tratarse de sismos postvolcánicos de origen superficial.

Además de las fracturas de cerca de la carretera y Las Manchas, existen otras que pasamos a mencionar. una distancia de 600 ó 700 m. del cráter de Hoyo Neg en el Llano del Agua, se halla el terreno totalmente resq brajado en todos sentidos con grietas de ancho varia desde algunos centímetros hasta más de tres metros; p como puede observarse en la figura 42, parece que e

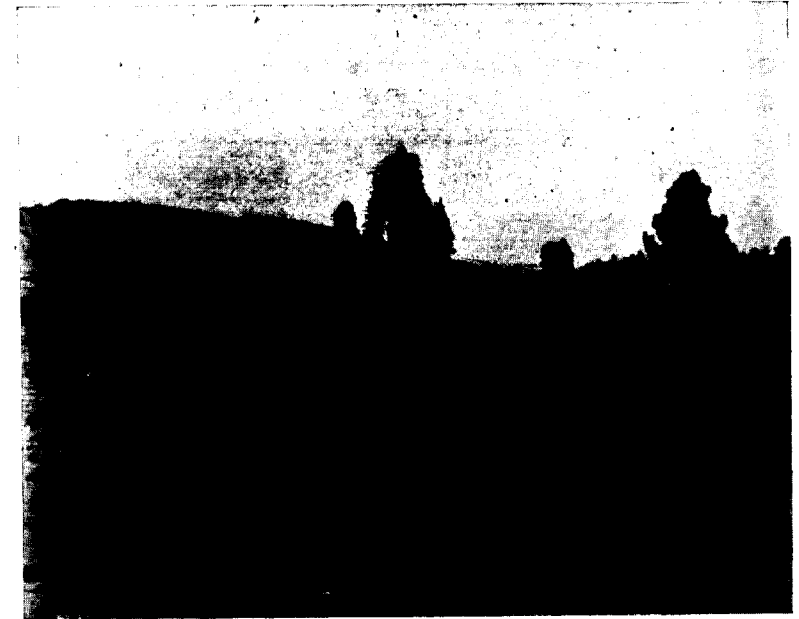


Fig. 42. - Grietas en el Llano del Agua y fisuración total del terreno, hacia el NNO. del Hoyo Negro.

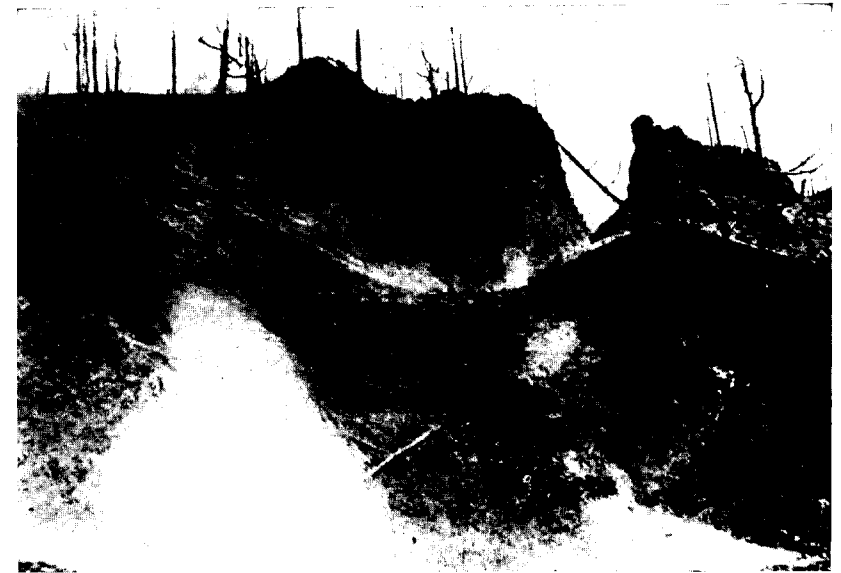


Fig. 43. - Falla (tiene un árbol atravesado) cerca del Duraznero, una de cuyas bocas, en primer término, exhala gases y vapores.



Fig. 42. —Grietas en el Llano del Agua y fisuración total del terreno, hacia el NNO. del Hoyo Negro.



Fig. 43.—Falla (tiene un árbol atravesado) cerca del Duraznero, una de cuyas bocas, en primer término, exhala gases y vapores.

Foto Benítez.



Fig. 44.—Una de las fallas con salto, cerca del Duraznero.

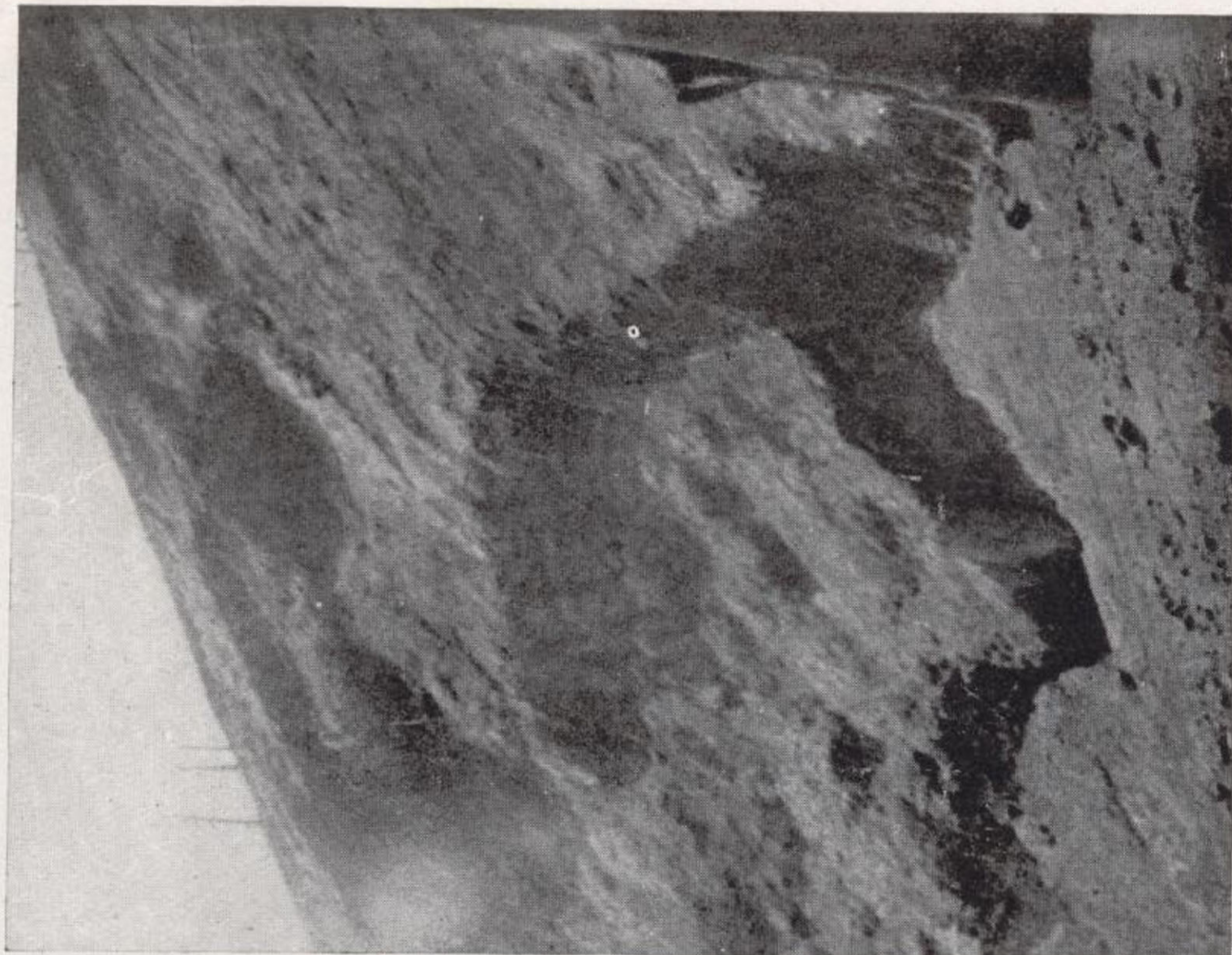


Fig. 45.—Hoyos y fracturas.





Fig. 46.—Falla en el Llano del Agua, que parece como una línea blanca al pie de los árboles, en un campo de cenizas de 40 cm. de espesor.

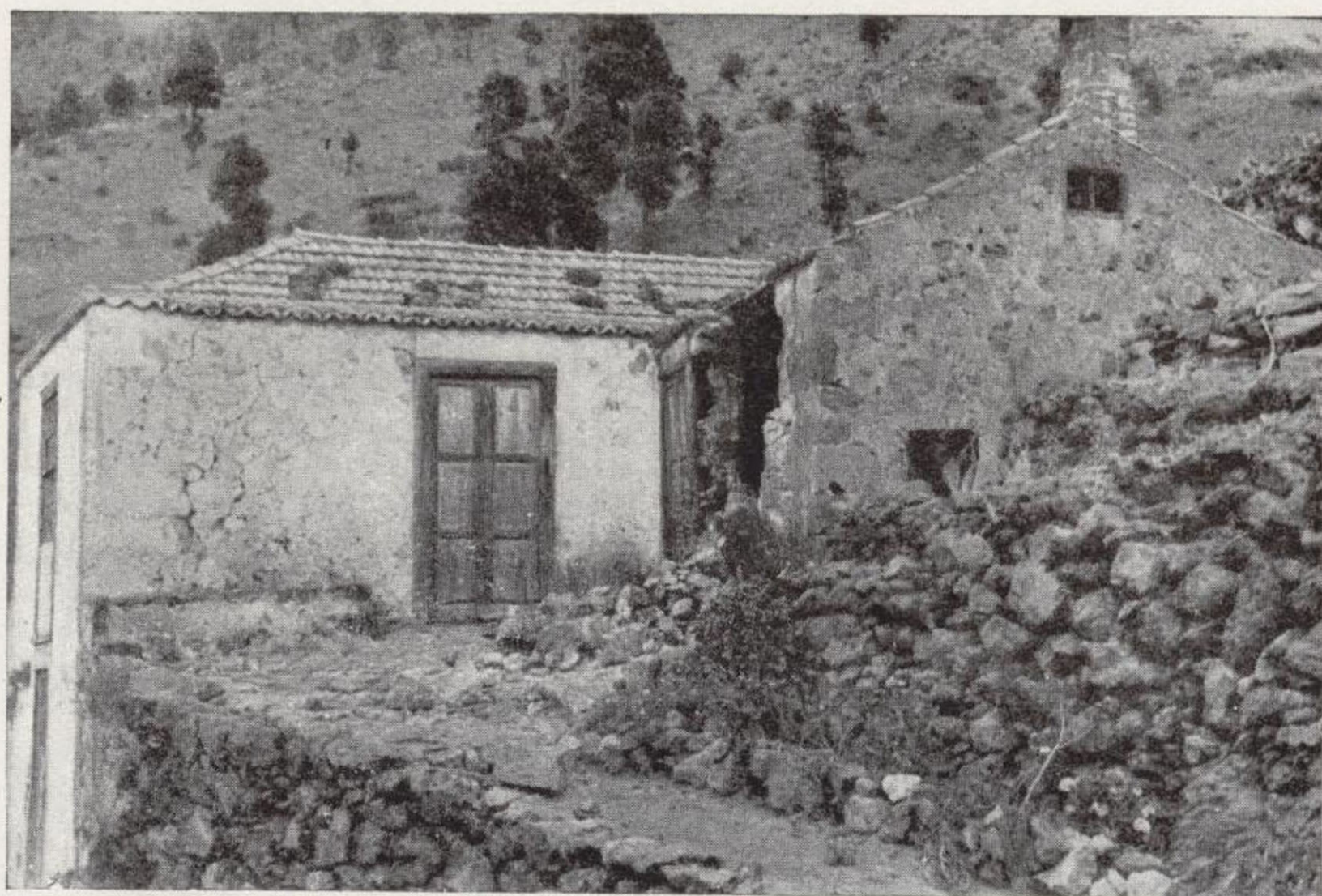


Fig. 47.— Casa del Dos de Copas.

ten dos direcciones principales cuyos rumbos aproximados son N. 42° O., y N. 11° E., siendo de advertir que cuando los medimos se hallaba el volcán en plena actividad, y por esto, no son seguros, sino aproximados. Hemos reconocido, también, dos fallas paralelas, que con la última dirección se dirigen hacia las bocas del Duraznero, una de ellas visible en la fig 43, y otra paralela que se halla próxima hacia la derecha en la fotografía. La primera de ellas presenta un salto de unos 4,5 m. según puede apreciarse en la fig. 44, habiendo descendido la parte oeste.

En ocasiones, las laderas se hallan cortadas por fallas, como en la fig. 45, y no faltan tampoco corrimientos a causa de las grietas. Cuando existía un pequeño lomo separando dos pequeños torrentes, es frecuente que haya desaparecido.

Por La Paila y el Llano del Agua (fig. 46), en la zona volcánica, corren las grietas casi paralelamente al cerro, acompañadas del otro sistema, algunas de las cuales tienen más de dos kilómetros de longitud. Otras grietas, unas acompañadas de hundimientos, y algunas desprendiendo fumarolas, se observan con bastante frecuencia.

La acción mecánica de los detritus lanzados, las explosiones de ampollas de gases y los propios hundimientos, producen hoyos en el terreno, de forma circular en la superficie y hasta de tres metros de diámetro, que permiten ver capas antiguas de picón, algo consolidado, con algunos bancos basálticos agrietados.

Prescindiendo de estos accidentes locales, llegamos a la conclusión de que en la zona volcánica existen los tres sistemas de fracturación que figuran en el croquis (fig. 1), o sean: una de Este a Oeste; otra principal orientada al N. 42° O., que la hemos observado en más de kilómetro y medio y que se dirigía desde Hoyo Negro hacia el Llano

del Banco, y una tercera menos importante, orientada N. 11° E., como hemos dicho anteriormente. Nos incómos a creer que han tenido un origen tectónico, s hemos dicho. Las demás pueden haber nacido por sis vulcánicos, pero no sería extraño que el terremoto del 13 de julio haya actuado como excitador, en un ca vulcánico preparado para la sismicidad.

Puesto que ya hemos reseñado la parte occidental central de la zona, vengamos ahora a la oriental (fig. Se han descubierto en ella una grieta (e), igualmente di da de E.-O., que corre entre los barrancos de las Cu y de La Sabina y entre la montaña de Las Goteras y l Azufre, más próxima a la primera, grieta que debió pr cirse durante el movimiento sísmico destructor de La bina y Lomo Oscuro, así como otras menos importa Actualmente (septiembre), todavía se perciben por e lugares algunos sismos débiles.

Nuestra hipótesis de la comunicación interna del Negro con el cráter del Llano del Banco, basada en l reción de las fracturas, ha sido confirmada durant erupción. Los fenómenos se sucedieron como había anunciado.

### 5) Macrosísmica y Geología

Otra observación, que hemos de tener en cuenta afianzar nuestra hipótesis tectónica, es la macrosísmic el terreno. La propagación de las ondas sísmicas que producido las mayores destrucciones, parece que llev dirección E.-O. Véase (fig. 47), por ejemplo, la casa d minada Dos de Copas, situada en el kilómetro 39 de l rretera general. La fachada blanca orientada O.-E. no t

más que ligeras grietas y, en cambio, la orientada N.-S. se halla destruída y los mampuestos han caído hacia el oeste. El empuje ha sido, por tanto, dirigido de E.-O. y lo propio se observa en casos diversos de esta zona.

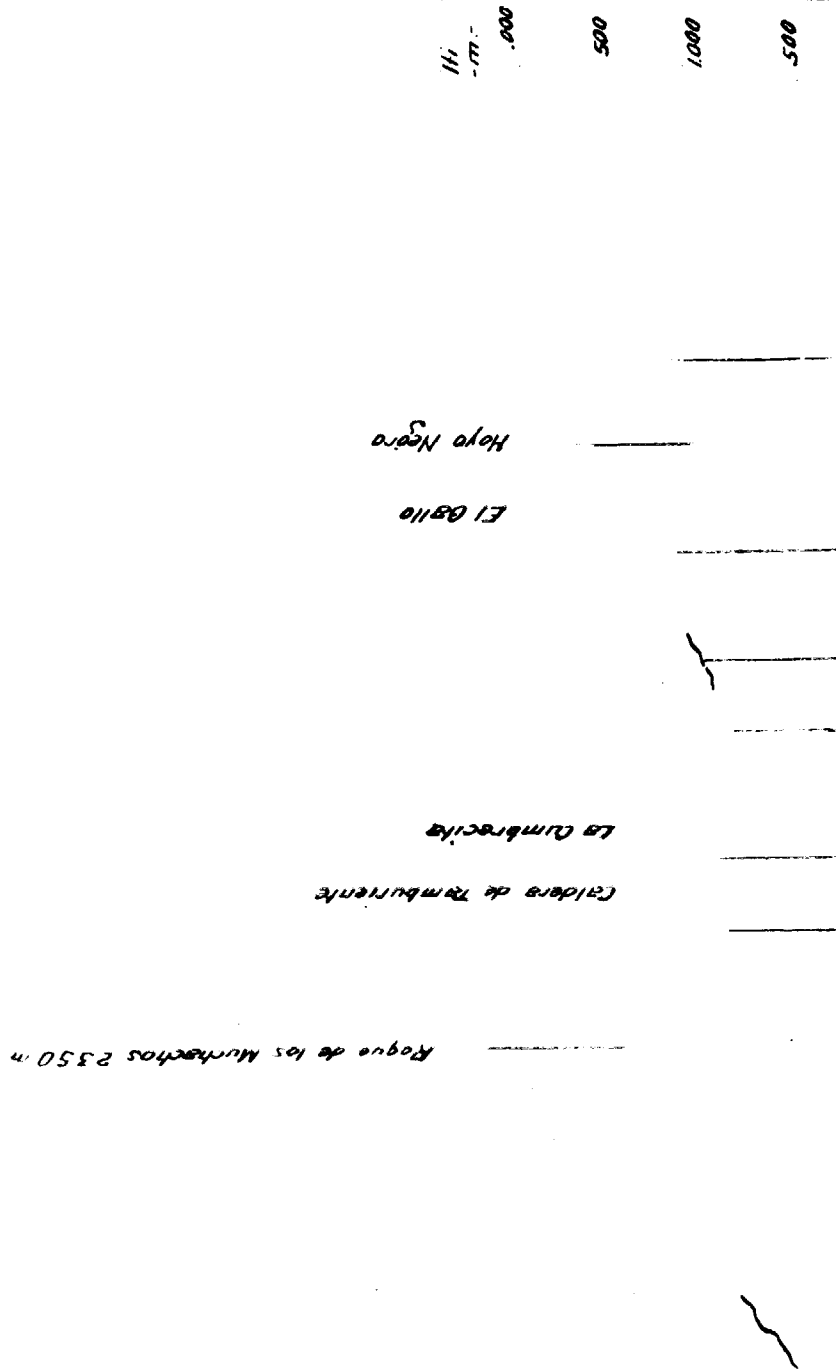
En el barranco de Las Goteras (Km. 39 de la carretera), en dirección de las cumbres al mar, o sea E.-O., existe una línea de destrucciones que es paralela a otra que pasa por el barranco de Los Hombres (Km. 40) y aun con otra que pasa por el de Tamanca (Km. 41). En las márgenes de estos barrancos, es donde se hallan enclavadas casi todas las edificaciones de Jedey, y es allí donde los sismos han tenido mayores caracteres catastróficos, singularmente en el barranco de Los Hombres y en el de Las Goteras, pues los daños han disminuído hacia el de Tamanca. Es una zona de casi tres kilómetros, en la que, por la variedad de las construcciones, se observan derrumbamientos en todas las fachadas, y cuando no se han producido más que en dos, predominan las que miran al Sur y al Oeste, por derrumbamiento de la esquina. Una de dos pisos, de construcción reciente, ofrece dos grandes grietas desde la cubierta al suelo en sus fachadas Este y Oeste. Las pocas casas construídas con bloques de cemento y losa de hormigón no han sufrido grandes daños.

Exactamente lo mismo ha sucedido en la zona oriental de la isla, en una faja de unos cuatro kilómetros de anchura, desde el kilómetro 14 al 18 de la carretera general. En el poblado de Lomo Oscuro, del término de Mazo, puede decirse que no ha quedado ninguna casa que no haya sido afectada por los movimientos sísmicos. La construcción allí es idéntica a la de Jedey, y la mayor parte se hallan totalmente derribadas, e incluso las mejores, muy bien construídas con mortero de cal, se hallan profundamente agrietadas. Desde allí a la costa, lo fueron también los

muros de contención de tierras, entre los cuales discurren los caminos. Las fachadas o esquinas más afectadas son las orientadas al Este, después al Sur, y las menos al Norte. Más hacia el Norte, no han experimentado daños de consideración.

A falta de sismógrafos en la isla, hemos seguido el criterio que nos parece más lógico; completar la observación macrosísmica con el estudio geológico, porque en su nacimiento, en su propagación y en sus efectos, el terremoto es, en definitiva, un fenómeno geológico. Ya hemos manifestado nuestra opinión acerca de la estructura geológica de La Palma, y para completarla, hemos construido dos secciones transversales, que resultan bastante aleccionadoras. La primera (fig. 48), no la hemos trazado según la línea de las cumbres que, aproximadamente, como sabemos, se orienta en dirección N.-S., sino desviándonos un poco ( $16^\circ$ ) al Oeste para ver la situación relativa que ocupa el macizo montañoso del Hoyo Negro. Vemos que la isla descende al mar, por el Sur, con una pendiente de unos  $11^\circ$ , como casi sucede en la otra vertiente, pero con la diferencia que en el Oeste tiende hacia el extenso campo de erupción, en el que se alza la Cumbrecita. Geológicamente, este terreno es de menos resistencia, porque se dirige a encontrar la zona baja de la Caldera de Taburiente y campos de lavas antiguas que constituyen el *substratum* de las llanuras —relativas— de El Paso.

Mucho más sugestivo resulta el corte E.-O., que pasa por Las Manchas y Hoyo Negro (fig. 49). Su simple silueta basta para considerar la zona montañosa de aquél como casi en desplome. Su vertiente oriental forma, con la horizontal del mar, un ángulo de  $12^\circ$ , pero en la occidental es de  $14^\circ$ , y hacia la cota 1.000 comienza el terreno a suavizar su pendiente hasta llegar a Las Manchas. Este barrio





se extiende a media ladera, y en su formación geológica se encuentran las coladas mucho más tendidas, alternan los bancos de basalto antiguo con los de tobas y brech volcánicas. Estas últimas formaciones cabe considerar como muy peligrosas para la sismicidad, por la facilidad con que pueden vibrar sus partículas, mal soldadas o c

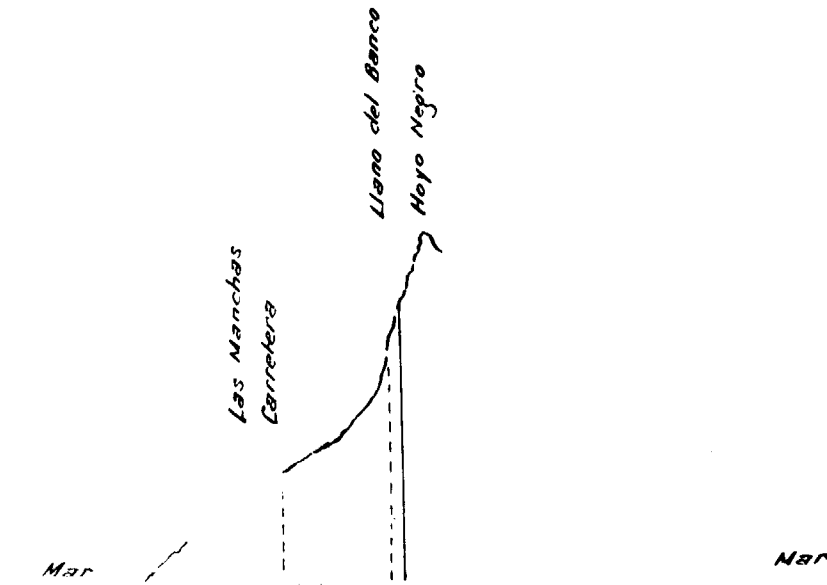


Fig. 49. —Sección transversal E.-O. de la isla por Las Manchas (cala 1:200.000).

sueeltas, transmitiendo perfectamente las ondas sísmicas como en la propia isla se ha comprobado, en los terremotos de los años 1936 y 1939, de mayor intensidad en zona de Fuencaliente, constituida por tales formaciones. No tendría consecuencias tectónicas si se tratara de una erupción de basalto, a través de formaciones sedimentarias, con una colada que las cubriese, por ejem

a través del triásico y del jurásico, como en la Selva Negra, en cuyo caso sabemos, por las medidas de Lais y Sieberg, que no existe aumento en la aceleración de las ondas. Pero el nuestro es distinto, por ser toda la isla volcánica, y debemos aceptar que las estructuras visibles se prosiguen en profundidad, dando terrenos tan falsos para la resistencia como peligrosos para la propagación de los sismos.

## 6) Hipótesis tectónica

La hipótesis tectónica salta a la vista. La montaña del Hoyo Negro, con sus cimas próximas aun más altas, que a medida que caminamos del Norte hacia el Oeste, en el primer cuadrante, se encuentran derrames volcánicos cada vez más tendidos, ha buscado su asiento profundo hacia el Norte. La componente de la presión gravitacional de la montaña, según dicha dirección, habrá producido en profundidad un efecto de laminación en dirección E.-O., por ser perpendicular a la presión, y la fisuración se ha provocado en esa dirección, o sea, en términos generales, según las tres líneas: 1. Kilómetro 39 (Las Goteras)-Duraznero-Lomo Oscuro. 2. Barranco de Los Hombres-Hoyo Negro-La Sabina. 3. Barranco de Las Manchas-Llano del Banco-Mazo (fig. 50).

Habría sido suficiente un pequeño deslizamiento, a una profundidad moderada, para que la primera fractura tectónica haya originado una descompresión en una antigua chimenea, en la que su lava conservaba los gases y vapores, a merced del equilibrio estático entre la tensión interna de éstos y la presión externa, produciendo de este modo el vulcanismo incipiente de los primeros días. La

hipótesis parece explicativa y lógica, hallándose basada en los hechos observados. Su comprobación definitiva es fácil basta establecer una nivelación de precisión para observar si la montaña sufre algún movimiento (\*). Pero antes tenemos de ver si responde a otras categorías de fenómenos que no se han tenido en cuenta para fundamentarla, cual constituye también una comprobación.

En primer lugar, señalemos la anomalía de que el volcán se haya establecido esta vez en las cumbres. Los volcanes de tiempos históricos han eruptado en zonas bajas, según hemos dicho. Como quiera que consideramos al vulcanismo como un efecto de la tectónica, y no como una causa, nos es lícito deducir, a la vista de que en estos lugares occidentales existen las estructuras de basaltos y brechas volcánicas con escasa inclinación, que tales estructuras son las más aptas para una fracturación profunda que origine el vulcanismo, fenómeno concurrente, además, con la sobrecarga que en tales formaciones haya podido producir la erosión de las cumbres.

En los conos volcánicos del Hoyo Negro y, en general de las cimas, se observa que son estrato-volcanes, esto es que se hallan constituidos por alternancias de lava y masas detríticas, que ahora encontramos como basaltos y brechas, pero con fuerte pendiente, de manera que las capas basálticas sirven, algo así, como contrafuertes botareles, para sostener su fábrica, mientras que cuando son poco inclinados u horizontales su resistencia mecánica es menor. El basalto realiza imperfectos contactos con los bancos detríticos y, además, en las erupciones rápidas

(\*) Según noticias del Sr. Pino, quien no conoce mi hipótesis, varias personas aseguran que aprecian *de visu* que la montaña descendió.

potentes, la efusión deja cuevas o cavidades, fenómeno frecuente en diversos lugares del archipiélago. Estas formaciones no se encuentran bien soldadas entre sí, por lo que deben hallarse prontas a ceder bajo el peso de las superiores. Esta es, a mi juicio, la causa del vulcanismo histórico en La Palma, siempre emplazado, excepto ahora, en tales terrenos, sobrecargados, además, por la erosión de las cimas.

Las lavas basálticas, derramadas a gran velocidad, ofrecen la tendencia a solidificarse superficialmente, dejando en su interior grandes oquedades. Existen en la isla de La Palma, en esta parte occidental de las cumbres, la Cueva del Loco, el Hoyo de las Grajas, el de las Brujas, el de los Amagantos, etc., así como en Lanzarote y en todo el archipiélago. Se cita en las Azores una de más de un kilómetro de longitud por 10 a 12 m. de altura, y mis compañeros Benito, Cerdón y Comba han publicado interesantes fotografías de ampollas lávicas en Lanzarote, completamente huecas en su interior. Producido este fenómeno en las lavas antiguas, no hay necesidad de insistir en la escasa resistencia de las formaciones geológicas en estos puntos débiles.

Por otra parte, aunque hasta ahora no se haya investigado su causa, la fisuración en sentido aproximado Este-Oeste es bastante frecuente en la isla para permitir alguna generalización del fenómeno. Ya fué mencionada por Fernández-Navarro, observando los conos escalonados de la erupción de 1646, que delatan la existencia de una fractura orientada según la antedicha dirección. Lo propio sucedió con el volcán de San Antonio, en la Montaña de las Cabras, y en el de El Charco, según la descripción que figura en páginas anteriores. La fisura del Llano del Banco, paralela al barranco de las Cubas, confluyente del Taman-

ca, lleva también esa dirección. Ahora bien, para que e fracturación se efectúe, es necesario un empuje tectóni orientado de Norte a Sur. Lo anómalo del caso actual triba en que se hayan enlazado el cráter de Hoyo Negro el del Llano del Banco con el Duraznero, en una línea q brada orientada, grosamente, al NO., y de unos tres ki metros de longitud total, y la importancia que tienen fracturas N.-S. Esto obliga a pensar que el movimie orogénico resultante ha tenido una componente, dirigi NE.-SO., y como quiera que la comunicación entre crá res ha sido posterior al nacimiento del Duraznero, o se asiento de la montaña por el Norte, ha debido existir d pués un pequeño movimiento de componente Oeste, ca de establecer dicha fisuración. Como estas fracturas No y NO. sólo se hallan en plena zona volcánica, sin que encuentren otras paralelas en los flancos de la monta cabría considerarlas como originarias de un sismo vulcá co, pero su apertura no coincidió con el del 13 de jul sino que éste tuvo una consecuencia más catastrófica q en plena zona volcánica, en los poblados de La Sabin Lomo Oscuro, del término de Mazo, los cuales quedar casi totalmente destruidos. Se hallan situados a u 7,5 kilómetros, en línea recta, del cráter más próximo 1.400 metros más bajo que él, por lo cual parece que de considerarse como sismo tectónico, aunque no de g profundidad hipocentral.

Finalmente, cuando determinemos la situación del e centro, obtendremos un nuevo argumento a favor de nu tra hipótesis. Se halla próximo a la zona volcánica, co es lógico, puesto que admitimos una falla que haya af tado a una chimenea, pero no coincide con ninguna de bocas establecidas en ella.

## 7) Consecuencias del reajuste gravitacional

Haciendo ahora una síntesis de todo lo observado y supuesto, me inclino a creer que la pequeña explosión con que se inició el Duraznero, el 24 de junio, venía preparándose con anterioridad, merced a sismos que fueron débiles en los poblados. De madrugada, en dicho día (fig. 41), se percibieron algunos en Las Breñas, Mazo, El Paso y Los Llanos, con lo que puede admitirse que la región epicentral se hallaba hacia el Norte de las cumbres volcánicas, y que el primer deslizamiento en profundidad de la montaña se efectuó por esta parte, dando lugar en la zona del volcán a la apertura de una fractura sobre la cual se instaló el cráter del Duraznero. Por cuanto hemos observado en la obturación de bocas o chimeneas, parece que éstas sólo obedecen, para su emplazamiento, a fenómenos superficiales.

A los tres días de nacer el volcán, y después de un día de calma sísmica, sobrevienen los sismos de los días 27, 28 y 29, que, como es lógico, le reactivan, y preparan el más intenso del 2 de julio, mientras la actividad volcánica venía decreciendo. Se producen derrumbamientos de edificios en Las Manchas y Jedey, que son los poblados donde los terremotos adquieren mayor intensidad. Es lógico que suceda, porque sabido es el papel de las fallas en sismología. Cuando el movimiento sísmico se propaga normalmente a ellas, le amortiguan; pero cuando aquél las recorre en el sentido de su dirección, le exageran. Y ambos grupos urbanos se hallan, precisamente, en las direcciones de las fracturas. En cambio, en Tigalate, situado casi en el mismo paralelo, pero en la costa oriental, se

sienten los sismos con escasa intensidad. Las fallas, tanto, no atraviesan toda la montaña. Su parte más des, hasta ahora, la del Oeste.

Sobrevino después el terremoto del 2 de julio, el intenso y extenso que allí se ha conocido, del grado VII de la escala de Sieberg. Entre otros poblados, también afecta a Las Manchas, y parece lógico que habría de tener algún reflejo en el volcán. Efecto inmediato no tuvo ninguno, como corresponde a la naturaleza tectónica de la falla. Como efectos mediatos, o subsiguientes, se le puede atribuir la mayor actividad del Duraznero a los cuatro días (6 y 7 de julio) y la preparación de la falla de Las Manchas y Jedey, e incluso la de la fisura del Llano del Banco, donde salió la lava a los seis días (8 de julio), todas ellas orientadas hacia Este-Oeste. El antedicho terremoto repercutió en Tígalate y en la costa oriental, aunque muy intensamente. Tan sólo produjo grietas en algunas casas.

Este empuje orogénico preparó, también, las fracturas que pusieron en comunicación interna el Llano del Banco con el Hoyo Negro, el cual entró en actividad a los 10 días. Como consecuencia del reajuste profundo de la montaña por su lado Oeste, se produjeron en ella activaciones posteriores del vulcanismo, con sismos vulcánicos secundarios, consecutivos de aquéllas. Continúan más o menos espaciados, durante 10 días, y al siguiente (13 de julio), producen los ocho terremotos que figuran en el Diario del volcán, uno de ellos con intensidad VII-VIII de la escala de Sieberg y otro débil, que nos llamó la atención, tanto por su duración (unos ocho segundos), como por el valor de su componente horizontal. El suelo avanzaba y retrocedía planamente, con una dirección aproximada E.-O. más intenso con ruidos subterráneos del Este en la ciudad

de El Paso, produjo derrumbamientos en las cumbres de la Caldera y las numerosas destrucciones en Lomo Oscuro y otros lugares del término de Mazo. Este sismo, a pesar de su intensidad, no tuvo la menor repercusión en ninguna boca vulcánica de las tres que se hallaban en actividad, y sólo cabe atribuirle el fenómeno de una crecida del río de lava, por establecer una comunicación más franca entre el Hoyo Negro y la fisura del Llano del Banco, según tuvimos ocasión de comprobar por el ritmo observado entre ambos. Le considero, por tanto, como un sismo tectónico producido por el asiento definitivo de la montaña hacia el Norte, dando lugar a la fisuración de la parte oriental de la isla.

Resumiendo cuanto concierne al reajuste en profundidad del bloque montañoso, podemos decir: el 24 de junio comienza el deslizamiento profundo por la parte Norte y se consolida el 2 de julio. Ha durado, por consiguiente, ocho días. El día 2 de julio se inicia el deslizamiento por el SO. y termina el 13 de julio, con una duración de 11 días. Tales han sido los lapsos invertidos por las rocas en ir almacenando, lentamente, la energía de deformación que después han liberado rápidamente, merced al rebote elástico, según la interpretación del fenómeno con la teoría de Reid.

Es digno de consignar, por lo que a la sismicidad se refiere, que hasta el movimiento del 13 de julio la parte más débil y fallada de la montaña era la occidental. A partir de dicho día, no sólo se debilita la oriental, sino que el epicentro parece que se desplaza hacia el Norte, porque dejan de percibirse, intensamente, los sismos en Tígalate, y, en cambio, suceden las destrucciones en La Sabina y Lomo Oscuro. Dicho reajuste hacia el Norte ha debido tener, como consecuencia, un movimiento de báscula en la

montaña, que fué el que produjo la fisuración NO. de cumbre y la oriental.

### 8) Epicentro e hipocentro

A falta de mejores datos para el cálculo del hipocentro optamos por los métodos de Mallet y Dutton, que son seguros, pero suficientes para nuestro objeto, porqu área pleistósismica es pequeña, y la isla no tiene más unos 17 Km. de anchura E.-O., por el lugar de la erupci. El error que podemos cometer es, por tanto, desprecia y puesto que nos es imposible acudir a otros méto imitamos a Harrington, quien, con el de Mallet, calcul profundidad hipocentral del terremoto de San Juan, a cido en la Argentina en el año 1944, que, casi compl mente, destruyó a la ciudad. No hemos podido medi aceleración de la onda sísmica por falta de columnas cuadas.

Si por la observación macrosísmica llegásemos a tr isosistas, prescindiendo de la zona volcánica, nos en traríamos, seguramente, con un núcleo en la zona de Manchas-Jedey, y con otro en La Sabina y Lomo Os de Mazo. Como quiera que para el cálculo habríamo tomar el centro de gravedad de la figura, creemos puede conseguirse un resultado análogo limitándon considerar las curvas antedichas, que han de compre toda la zona destruída, la agrietada y la volcánica.

Nos es relativamente fácil trazar la isosista de int dad máxima, para determinar la zona mezosísmica o tosísmica. Los poblados más castigados por el Oest sido, como sabemos, Las Manchas y Jedey, y por el La Sabina y Lomo Oscuro, donde hay más de un cen

## MAPA ISOSÍSTICO

ESCALA 1:150.000

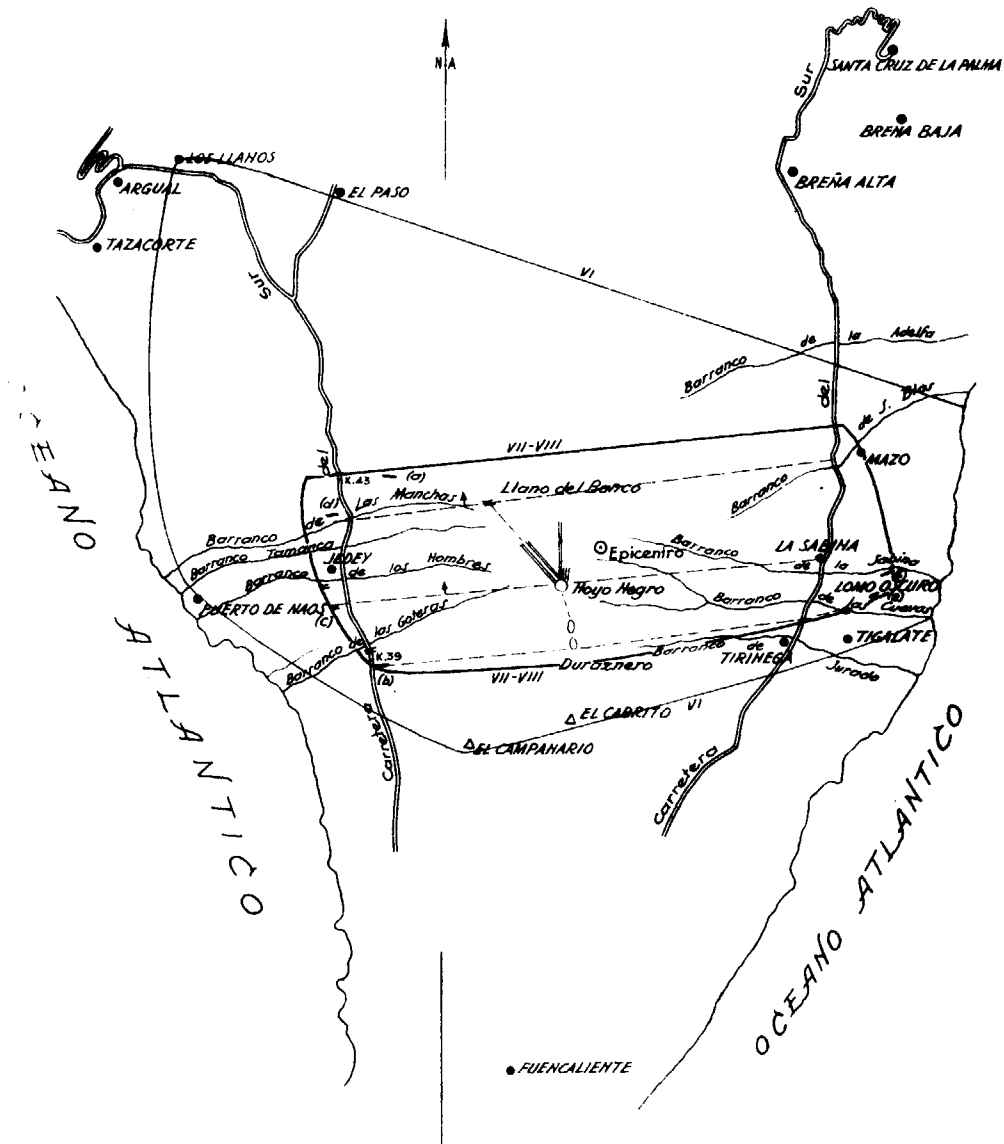


Fig. 50

de casas hundidas y agrietadas. El límite meridional le determinamos por debajo de la casa denominada Dos de Copas, en el kilómetro 39 de la carretera, donde existe un grupo de casas, emplazadas en un palmar, que amenazan ruina en su totalidad, y los muros del camino público fueron derribados en muchos metros de longitud.

Hasta 500 m. por debajo del barranco de Las Goteras existen dos casas, tal vez las únicas, de Manuela González y Francisco Álvarez, que ofrecen grandes grietas, y las que se hallan medio kilómetro más abajo, en dirección a Fuen-caliente, no han sufrido daño.

Para el límite Norte, tenemos en cuenta que ni desde El Paso ni desde Los Llanos hasta el río de lava, en el kilómetro 43, no ha existido ningún hundimiento. Dentro del casco urbano de la primera ciudad citada sólo algún pajar, en pésimas condiciones, fué derrumbado, y algunas casas sufrieron sólo grietas insignificantes. Hacia la Breña Baja se sintieron los sismos con pequeña intensidad. En la ciudad de Los Llanos ha existido, tan sólo, una grieta en la casa-cuartel de la Guardia Civil. En Puerto de Naos no han existido más que agrietamientos leves en algunas casas, y las bien construídas no sufrieron daño.

De manera que podemos trazar las dos isosistas de grado VIII-VII y VI de la escala de Sieberg, que aparecen en la figura 50, comprendiendo en la primera las casas hundidas y las grietas en el terreno; y en la segunda, las construcciones agrietadas y los pequeños desprendimientos en los riscos de las laderas.

El centro de gravedad del área mezosista se halla representado en E., o sea el epicentro teórico, que se encuentra a 1,1 Km. de distancia del Hoyo Negro, como cráter más próximo, y a 2,3 y 2 Km. del Llano del Banco y del Duraznero, respectivamente. Está emplazado un poco

hacia el Este de la zona volcánica, todo lo cual parece mostrar que corresponde a sismos tectónicos, ya que coincide ni se acerca mucho a ningún cráter. Orogicamente, se halla situado en la ladera oriental del Nanque, hacia La Sabina, a una altitud de unos 1.700 m. lejos del barranco de Las Cuevas.

El radio medio de la curva mezosista es de 4,65 metros, que multiplicado por  $\sqrt{2} = 1,4142$ , según el método de Mallet, nos conduce a una profundidad, para el centro teórico, de 6,6 Km., o sea de 7 Km., en números.

Si calculamos la profundidad utilizando la primera regla de Dutton, que es, generalmente, inadmisibles por se obtienen valores excesivos, llegaríamos a 8,1 Km. La segunda regla de este autor, nos conduce al mismo que la de Mallet. Finalmente, no estimamos oportuno admitir la hipótesis de Knott de que las destrucciones debidas a la componente horizontal, porque, en nuestro caso, las fallas con salto nos revelan que la componente vertical no es despreciable. Existen algunas casas hechas, en las que el pavimento de mosaico ha sido levantado en bloque. Por todo ello, aceptamos dicha profundidad de 7 Km., que corresponde a un movimiento tectónico de mediana profundidad. El citado de San Juan, en la Argentina, tuvo su hipocentro a 14 Km.

De la figura se deduce que los movimientos sísmicos han debido llegar al mar, principalmente por la parte de la isla. Además de la grieta en el terreno entre las montañas de las Goteras y del Azufre, existe el testimonio de un agricultor que se hallaba cavando cerca de la costa cuando se sintió impelido en distintas direcciones, terminando por caer a tierra. Esto revela que se hallaba dentro de la zona mezosista del grado VI de Sieberg, tal como se representa

la figura. Lo propio ha relatado otro individuo que se hallaba en la zona de Jedey.

### 9) Dirección y buzamiento de las fallas

Las curvas de destrucciones que limitan el área mezosísmica por el Este y Oeste, son equiparables a arcos de circunferencia, como corresponde a la isotropía sísmica de las laderas de una montaña volcánica. Si los fenómenos fuesen debidos a la erupción en una cima, el área mezosísmica debería ser análoga a un círculo de radio pequeño, lo que no corresponde a la realidad, pues los grandes efectos de los sismos no se extienden ni por el Norte ni por el Sur, más que entre los kilómetros 39 y 43 de la carretera. Por el contrario, la figura tiene los caracteres de sismos lineales, debidos a terremotos por hundimiento, a consecuencia de fallas.

La fractura ha de ser paralela al eje de la figura que pase por el epicentro y sea paralela a los lados mayores, representativos de las direcciones de falla. Dicho eje se halla dirigido de O. 6° S. a E. 6° N., y resulta notable la correlación que existe entre todas las fisuras y grietas en el terreno con dicha dirección, así como la coincidencia, casi exacta, de las situadas hacia las costas, con los cráteres emplazados en la cúspide en Llano del Banco, Hoyo Negro y Duraznero. Esto hace suponer que existen las tres fallas profundas ya mencionadas, que obedecen a un empuje dirigido de S. 6° E. a N. 6° O. La falla inicial, o sea la del Duraznero, así como las restantes, son inclinadas, porque las isosistas se aproximan por el Sur y se separan por la parte norte, y tendrán, por consiguiente, su buzamiento dirigido hacia el Norte.

Se cumple también la regla de los terremotos tectónicos, de que la falla aparezca no muy lejos del epicentro. Prescindiendo de las fisuras del Duraznero, puesto que hemos trazado la curva muy cerca de él, vemos que, si caminamos hacia el Oeste por la antedicha dirección teórica, encontramos dicha falla cerca del barranco de Las Goteras, pasado el Km. 39 de la carretera, y por el Este hallamos las destrucciones de Lomo Oscuro. Al Hoyo Negro corresponde, por la parte occidental, la grieta del barranco del sur del barranco de Los Hombres y las destrucciones de Jedey, y por el Este, las de La Sabina. Finalmente, a la fractura del llano del Banco corresponde la destrucción de Las Manchas, por el Oeste, y las de Mazo, bastante menores, por el Este. Después de nacer el cráter del Duraznero, el terreno ha resultado fallado en fracturas paralelas, y siendo la de aquél la más externa, será también la más profunda por su buzamiento hacia el Norte.

Otra consecuencia importante es, que la fractura interna, dirigida grosamente al NO., que ha puesto en comunicación los tres cráteres en la cúspide, pese a su notable longitud, de unos tres kilómetros, no debe ser tan profunda como las anteriores, ni tan larga, porque de serlo, la fácil conductibilidad de las ondas sísmicas, según dicha dirección, hubiese producido mayores daños en las casas emplazadas cerca de la carretera de los términos de Los Llanos y de El Paso, e incluso en estas ciudades, lo que no ha sucedido, a pesar de que el terreno es propicio, por sí, para la buena transmisión de las ondas sísmicas. Por estas consideraciones, parece que debe atribuirse esta falla NO. a un movimiento de báscula hacia el SO., que ha fracturado la cúspide, y no meramente a una explosión de la lava, como un simple sismo vulcánico. Por otra parte, si es la lava quien abre su camino, obligada está a relle-

narlo, y entonces hubiese aparecido por todas las grietas de la cúspide, lo que no ha ocurrido. Apenas han abierto los gases y vapores más chimeneas que las de los propios cráteres, y sus comunicaciones mutuas son internas.

Considerando ya la segunda isosista, vemos que, si no fuese por la falla, que amortiguó hacia el Sur y SE. la sismicidad, por verse ésta obligada a atravesarla, el eje mayor de su elipse teórica se hallaría dirigido NO.-SE.; con lo cual resulta que los sismos de igual intensidad han alcanzado mayor distancia hacia El Paso y Los Llanos, esto hacia el Valle de Aridane, geológicamente constituido por alternancias de basalto, tobas y brechas, bastante horizontales, confirmando así cuanto venimos diciendo acerca del mayor peligro de estas formaciones. En cambio, en La Breña Baja, se han percibido los sismos con mucha menor intensidad, porque se halla en una sombra sísmica, proyectada por la montaña mejor consolidada. También revela el trazado, que por la parte de la costa, en prolongación de la zona mezosísmica, el terreno es más compacto. Conviene estudiar si los terremotos han producido alguna pequeña variación en la línea de nivel de ambos litorales.

El trazado de isosistas demuestra, por consiguiente, la validez de la hipótesis tectónica y comprueba también las deducciones que habíamos basado en la observación geológica.

### 10) El foco magmático

En la región del techo de las antedichas fallas se encontrará el foco sísmico, pero el magmático puede hallarse a mayor profundidad. Veremos que, esto no obstante, parece suficiente la profundidad de 7 Km. para la generación



magmática, cuando esta falla haya cortado una antigua chimenea, del Bidigoyo o del Nambroque, o común a ambos, lo cual, tal vez podría dilucidarse con un estudio petrológico comparado de las rocas extrusadas.

Si el terreno no fuese volcánico, a 7 Km. de profundidad reinaría una temperatura de unos 254° C. con una presión gravitacional de las rocas de 2.000 Kg. por centímetro cuadrado, condiciones físicas bien distantes para la producción de un magma. Opuestamente, en un país volcánico como La Palma, el magma puede encontrarse ya formado, como un remanente de erupciones anteriores, debido a la pequeña conductibilidad de las rocas. Podría conservar su temperatura e incluso todos los gases y vapores que no hayan podido liberarse en erupciones anteriores. En cuanto un movimiento orogénico ha producido, en profundidad, una descompresión en una chimenea antigua, los gases y vapores se han desprendido y han alumbrado al volcán.

Ya he dicho anteriormente que basándonos en la experiencia de sondeos poco profundos, pueden obtenerse los 1.200° C. a profundidades de 15.600 m. y 12.200 m., y como quiera que el grado geotérmico en un distrito volcánico aumenta mucho con la profundidad, no parece aventurado suponer que a los 7.000 m. se encuentre la antedicha temperatura, bien conservada en una chimenea, merced al poder atérmico de su envoltura.

Un breve tanteo analítico puede ilustrarnos a este respecto, ya que conocemos el largo período de tiempo que necesitan las lavas básicas para consolidarse. Las temperaturas observadas por Spallanzani, Magnet, Humboldt, Hernández Pacheco, etc.; y bien recientemente por mis distinguidos compañeros Benito, Cordón y Comba, en sus estudios acerca de la utilización industrial del calor en la

Montaña de Fuego, de Lanzarote, son bastante expresivas. En esta isla (islote Hilario) se han registrado temperaturas de 390° en grietas superficiales de la lava de la erupción del año 1824, y en la de La Palma, mi colaborador, el ayudante de minas Fernández, en las innumerables fisuras de la corrida de lava en Las Manchas, ha encontrado 520° C., cuando la superficie estaba consolidada, a los tres días de cesar la erupción y a 30 cm. de profundidad. De manera que, en el transcurso de 1949-1824 = 125 años, se han enfriado estas lavas tan similares: 520° C. — 390° C. = 130°, o sea, aproximadamente, 1° C. por año.

Aun aceptando el gradiente más bajo de los reseñados, o sea, 14,16 m. (en Las Palmas, en un pozo para agua han encontrado mis compañeros 25 m.) a una profundidad de 7 Km. le correspondería una temperatura de 480° C., de manera que, si se tratase de una chimenea volcánica, la temperatura de la lava habría descendido  $1.200 - 480 = 720°$  C. Aun extrapolando, abusivamente, las condiciones superficiales de 1° C. por año, en una zona de 30 cm. de espesor, para lograr el descenso de 720° C. en el fondo de una chimenea, serían precisos  $\frac{720 \times 700.000}{30} = 16,8$  mi-

llones de años. La cifra no es desorbitada para los períodos geológicos, que también se miden por millones de años, en virtud de la relación del plomo al uranio, pero es extraordinaria para la edad de una chimenea adventicia después de muchas erupciones adosadas a La Caldera. Para el mioceno se calcula, actualmente, una edad de 25 millones de años, y ninguna de estas cumbres estaban sumergidas al principio de dicho período, sino después. El picón que cubre a todos estos conos volcánicos se halla sin cementar y poco descompuesto; y, por otra parte, las lavas basálticas son indicios de juventud en las erupciones

de la isla, que comenzaron siendo bastante ácidas. Finalmente, el propio Nambroque, próximo al Hoyo Negro, ha experimentado en tiempos no muy lejanos, una erupción que corrió por la vertiente Este, dando lugar al malpaís de Tiguerote, que corta la carretera entre los kilómetros 17 y 18, cuya efusión vertió en el mar. De aquí que podamos concluir diciendo, que todo parece indicar que el reajuste del equilibrio de la montaña se ha realizado a una profundidad de unos 7 Km., o sea de 5,2 Km. aproximadamente, por debajo del nivel del mar, y que la propia falla ha provocado el vulcanismo.

La escasa importancia que los gases y vapores han tenido en la erupción, parece justificar la pequeña profundidad del reajuste tectónico, porque la lava no contendría tanta proporción de aquéllos como las más profundas. Una cierta cantidad ha podido emigrar en erupciones anteriores, como la de Tiguerote, por ejemplo.

## VIII. ESTUDIOS DE LABORATORIO

### 1) Estudio de la roca obtenida

Los análisis micrográficos, realizados por mí en nuestro laboratorio de Petrología, han dado los siguientes resultados:

#### a) Muestra tomada en la carretera (Las Manchas)

**MACROGRAFÍA** (fig. 51).—Es una roca extrusada en el malpaís, de color negro, compacta, sin que sean discernibles, a simple vista, más minerales que muy pocos puntos blanquecinos, que corresponden al feldespatos. De superficie rugosa, y muy áspera al tacto, presenta una fractura subplana y a veces concoidea, ofreciendo una textura vacuolar que en algunos ejemplares es de singular importancia, pues los poros llegan a tener un diámetro hasta de cuatro milímetros, siendo de observar que cuanto menos porosa es la muestra, es mayor el número de prismas feldespáticos que presenta, como consecuencia lógica del proceso de solidificación. El vapor de agua ha tardado más tiempo en escapar y el magma era más fluido y, por tanto, más propicio para la cristalización. En muchas ocasiones las vacuolas conservan una orientación paralela.

Es dura y tenaz, ofreciendo considerable resistencia al desgaste.

**MICROGRAFÍA** (figs. 52 y 53).—En la platina del microscopio, lo primero que resalta es su textura vacuolar, que en algunos ejemplares alcanza el 25 % del volumen de la roca, con poros hasta de 0,10 mm. de diámetro, redondeados o subredondeados, acreditando una gran fluidez del magma, que hasta por tan sutiles conductos ha permitido escapar a los gases, sin procesos explosivos de ningún género. Dentro de una estructura hipocristalina, la roca presenta una textura porfírica, con fenocristales de augita bastante abundante, algunas de biotita y muy raros de feldespato, pero casi siempre de pequeño tamaño, excepto los del último mineral, que, aunque excepcionalmente, alcanzan hasta 2,5 mm. de longitud. La pasta se halla constituida por augita, feldespato, magnetita y vidrio. Describiremos brevemente estos componentes.

#### FENOCRISTALES.

**Augita.**—Tiene tendencia francamente idiomorfa, que generalmente respetan los poros, sin romper el escape de gases las formas cristalinas, sino atravesándolas limpiamente, como revela la figura 53. Por sus propiedades ópticas, es una augita altamente ferrífera y titanífera, presentando inclusiones de magnetita y de la pasta. En algunas preparaciones ofrece una aureola de resorción magmática. Presenta el crucero prismático algo difícil y de color negro, y es algo frecuente la macla  $h^1$  (100).

Muy raramente, en algunos ejemplares de augita aparece un núcleo débilmente azulado con cierto pleocroismo:  $\alpha$  = pardo claro;  $\beta$  = azulado;  $\gamma$  = violáceo, que, como veremos en su quimismo, debe referirse a una aegirita que

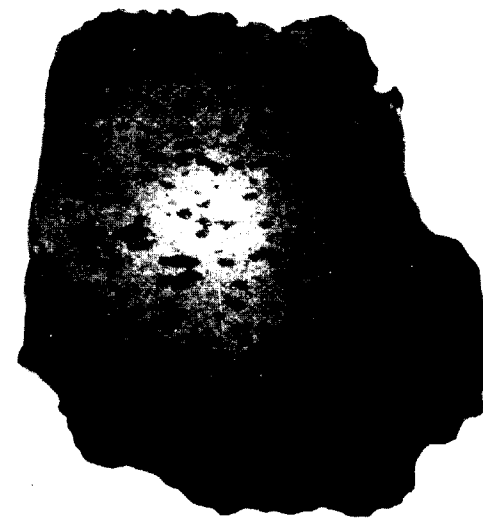


Fig. 51. —Fotografía de una muestra del basalto;  $\times 1,5$  aumentos.

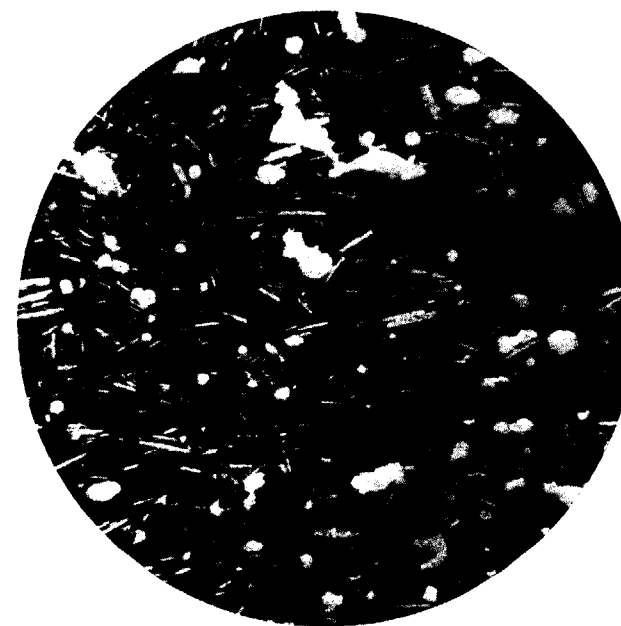


Fig. 52. Fotomicrografía del basalto. Luz polarizada  $< 20$  diámetros. Fenocristal de augita (gris oscuro, granuloso); labradorita (gris claro, formas alargadas) en una textura vacuolar (poros, gris claro, formas irregulares).



Fig. 51.—Fotografía de una muestra del basalto;  
× 1,5 aumentos.

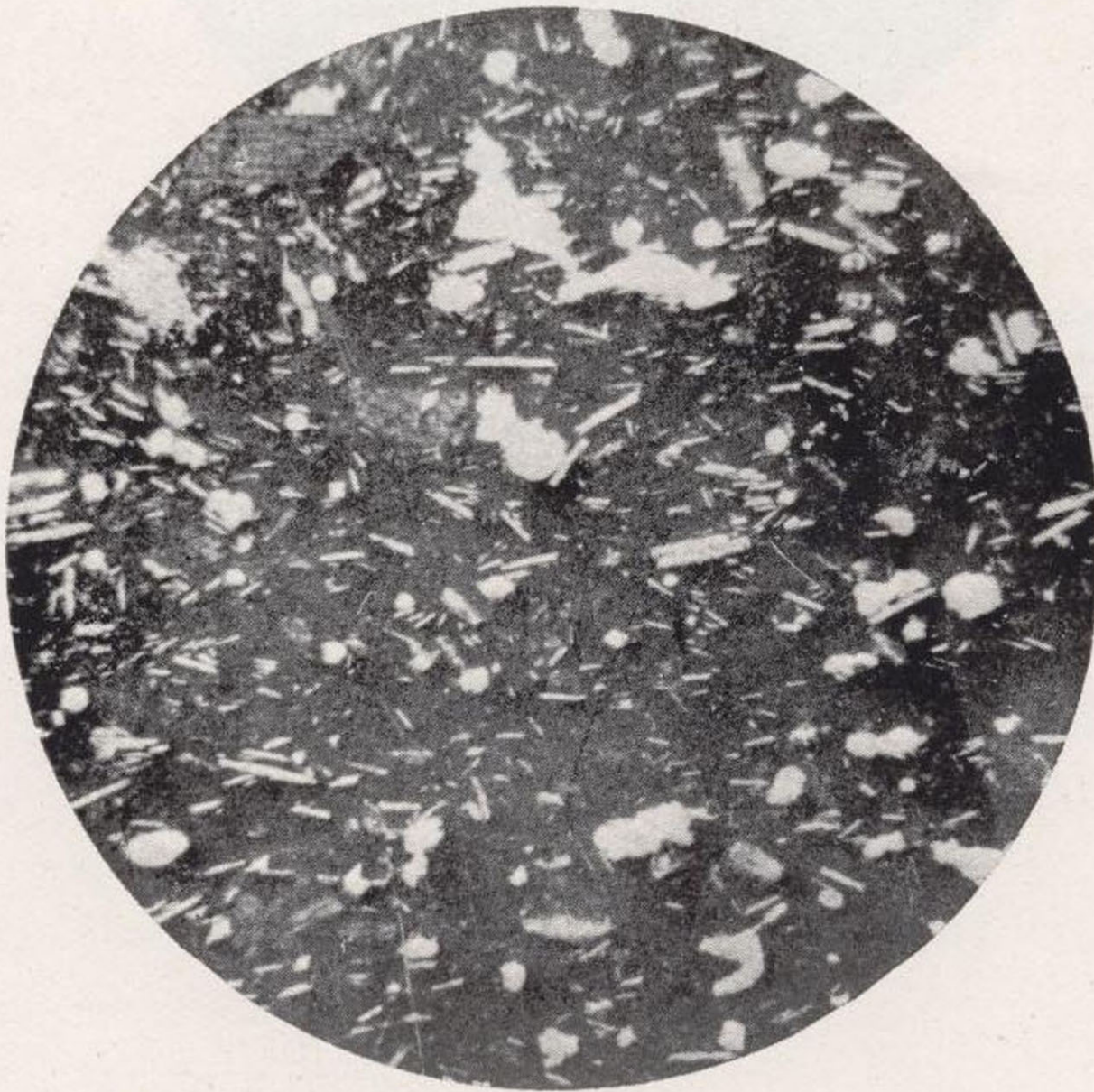


Fig. 52.—Fotomicrografía del basalto. Luz polarizada  
× 20 diámetros. Fenocristal de augita (gris oscuro,  
granuloso); labradorita (gris claro, formas  
alargadas) en una textura vacuolar (poros, gris  
claro, formas irregulares).





Fig. 53.—Luz polarizada. Nícoles a  $70^{\circ} \times 60$  diámetros. Fenocristal de augita en una pasta de microlitos de feldespato, augita y vidrio. Las vacuolas, irregulares, aparecen en gris claro, uniforme. Un poro circular atraviesa una inclusión de pasta (negro) en la augita.



tal vez contenga la augita en solución sólida o por contaminación, pues la roca se halla completamente sana y no contiene uralita ni ningún producto verdoso ni azulado, más que éste que referimos.

*Biotita.*—Sus fenocristales corresponden a una variedad ferrífera y seguramente titanífera, que cabe considerar como lepidomelana, presentando el siguiente pleocroismo:  $\alpha$  = pardo débil amarillento;  $\beta$  = pardorrojizo;  $\gamma$  = pardo oscuro, casi negro, por su fuerte absorción en esta dirección. Suelen ofrecer una aureola de reacción bastante amplia, y en ocasiones el ejemplar se presenta casi opaco al paso de la luz polarizada.

*Feldespato.*—Estos fenocristales, sumamente escasos, suelen ser mayores que los de biotita, y debemos considerarlos como raros, pues para encontrar alguno es necesario observar varias preparaciones microscópicas. Ofrecen una estructura zonada, y por sus propiedades ópticas corresponden a la labradorita. Contienen inclusiones de la pasta y no aparecen muy corroídos por ella.

*PASTA.*—Su composición mineralógica ofrece ligeras variaciones de unas muestras a otras. Cuando los poros son abundantes, con un fácil escape gaseoso y un proceso de consolidación algo rápido, que además se traduce en la roca por una mayor proporción de vidrio, el feldespato es bastante raro y, desde luego, no existen fenocristales de este mineral. La roca pudiera tomarse por una augita o un augitófiro micáceo. Lo más frecuente, en condiciones más normales, es que los gérmenes cristalinos feldespáticos hayan podido desarrollarse, dando lugar a microlitos, que a continuación describo. La pasta ofrece una textura hialopilítica formada por granulillos de augita y de magnetita, los microcristales de feldespatos y un

relleno de vidrio de tono pardo, entre los antedichos elementos.

*Augita de la pasta.*—Los microgránulos alotriomorfos de augita son muy abundantes. Hemos encontrado en un microcristal, de mayor tamaño que los gránulos, la macla cruciforme (101).

*Plagioclasa de la pasta.*—Por sus propiedades ópticas, corresponde a una labradorita de fórmula  $Ab_{35}An_{65}$ , dentro de la serie isomorfa albita-anortita. Se presentan en cristales, a veces muy alargados, según  $p$  (100)  $g^1$  (010) y maclados según la ley de la albita. En ocasiones, se encuentran bien terminados, pero de modo casi general, han sufrido en sus extremos la dificultad del desarrollo idiomorfo, por la viscosidad de la pasta, no faltando, por ello, la terminación en horca de labor o garganta de polea. Una particularidad notable de esta roca es la textura fluidal de la labradorita de los microlitos feldespáticos, como testimonio de la fluidez de la lava, que ha permitido a dichos cristales orientarse en el sentido de la corriente. Es sumamente análoga a la textura fluidal de las traquitas (fig. 52).

*Minerales accesorios.*—Cabe citar el apatito, que figura como inclusiones en la augita y la biotita, y, singularmente, la magnetita, que a veces se presenta en cristales cúbicos, algo voluminosos y más frecuentemente en gránulos repartidos entre la pasta con bastante profusión.

**CLASIFICACIÓN.**—Dada la ausencia de feldespatoideos, debe quedar excluida esta roca de la familia de los basaltos alcalinos, lo que resulta de gran interés, tratándose de la isla de La Palma, donde, según algunos petrólogos, abundan las rocas de nefelina. Se trata, simplemente, de un basalto plagioclásico, pero sin olivino, por lo que dentro de

la nomenclatura francesa debe ser denominada *labradorita* o *basaltita*, análoga a la andesita —de la que no discrepa más que por la naturaleza más básica y más cálcica de los microlitos feldespáticos—, ya que el Comité francés de Petrología reserva el nombre de basalto para las labradoritas de olivino.

Los petrólogos estadounidenses también consideran el olivino como elemento esencial del basalto, pero como este último es el equivalente vulcánico del gabbro plutónico, cuyo tipo normal no contiene olivino, resulta que por esta última circunstancia, nuestra roca, que evidentemente representa un magma gabbroico normal, habría de denominarse basalto *sin* olivino, clasificación que es, a todas luces, absurda, porque una nomenclatura científica debe basarse en los minerales que la roca contiene, pero no en los de que carece. De aquí, que muchos petrólogos de aquel país consideren como basalto normal al equivalente del gabbro normal, o sea sin olivino. Siguiendo la costumbre establecida, hasta tanto que aquella más lógica se generalice, debemos denominarla *basalto sin olivino* o *basaltita*. Por la fluidez de su lava corresponde a la denominada *pahoehoe* por los hawaianos, petrológicamente conocida con el nombre de *dermolita*, que es la productora de las formas cordadas de la lava.

**INTERPRETACIÓN DEL PROCESO GENÉSICO.**—Si atendemos al proceso de consolidación del magma, la anomalía anterior de la nomenclatura queda fácilmente explicada, en virtud del proceso de reacción continua, de Bowen, que ya he consignado en otro lugar, refiriéndome a las ofitas (\*). Aun

(\*) *Nuevas notas acerca de las ofitas.*—Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, 1942.

sin necesidad de un análisis químico cuantitativo, el estudio de las preparaciones microscópicas revela que el magma originario contenía bastante cal, magnesia, álcalis y alúmina, con sílice no excesivamente abundante, además de Fe y Ti; y sabemos, por los experimentadores del Instituto Carnegie, que tratándose de mezclas, como en los magmas sucede, no debemos hablar de temperaturas de fusión o de solidificación, sino de *intervalos*. El orden de separación de los minerales tampoco obedece al grado de su fusibilidad, sino a la composición química del baño y a su temperatura, pudiéndose obtener de un mismo magma cristalizaciones mineralógicas diferentes, según la composición química de la mezcla fundida restante, o sea de la fase líquida. De aquí, que nada nos dirían las consideraciones teóricas que pudiéramos deducir de las temperaturas de fusión de los minerales que componen la roca, pero tampoco podemos basarnos, exclusivamente, en procesos experimentales, porque cuando los componentes son tan numerosos como en nuestro caso, la experiencia es de tal complejidad que tampoco admite ninguna representación especial como expresión gráfica de los fenómenos. Por ello, nuestro razonamiento, a la par que se fundamenta en la observación microscópica, debe apoyarse en el análisis de diagramas más sencillos, que nos enseñan que en la cristalización de un magma complicado puede existir la desaparición parcial o total de un mineral ya formado, como fenómeno completamente normal, sin necesidad de apelar a nuevas recurrencias, ni enriquecimiento o empobrecimiento de algunas sustancias, ni de elevaciones de temperatura, como antiguamente se decía, para justificar estas resorciones, sino que todos los fenómenos dependen, en todo momento, del estado de equilibrio de las fases sólida y líquida del sistema cristalizante.

Con tales premisas, podremos explicarnos el proceso petroquímico del modo siguiente: según el diagrama de equilibrio sugerido por Vogt para la mezcla  $\text{SiO}_2$ , Mg, —  $\text{SiO}_2$ , Fe, *fosterita-fayalita*, un olivino ferruginoso ha podido depositarse entre los  $1.200^\circ$  y  $1.300^\circ$  C., de manera que hasta tal temperatura ha podido secretarse del baño dicho mineral, como elemento de primera formación, con lo que ha podido obtenerse un basalto de olivino. No ha sucedido así, porque para mantener el equilibrio bifásico del baño, sobrevino, después, la reacción que se tradujo en una refusión del mencionado peridoto, mostrándose entonces en la fase líquida una tendencia a la composición ternaria *augita-albita-anortita*, con predominio del piroxeno, por lo cual la augita se estaría depositando durante un intervalo relativamente largo y en un baño poco viscoso, como lo demuestra el crecimiento idiomorfo de los fenocristales, inconcebible si las partículas no disfrutaban de buena difusión dentro de la fase líquida.

Esta última ha reaccionado con los cristales ya formados de augita, disolviéndolos en la periferia y depositando una aureola negra, que de no ser el baño tan ferruginoso sería de hornablenda, en virtud del principio de reacción de Boven, con lo cual, la fase líquida tendió al depósito de la biotita, que también atacó posteriormente, como revela su aureola de reacción. Finalmente, la viscosidad del baño detuvo el desarrollo de los gérmenes cristalinos y sobrevino el vidrio.

En cuanto al feldespato se refiere, si considerásemos la mezcla binaria *albita-anortita*, posiblemente incurriríamos en error, porque según el diagrama de equilibrio, para nuestra labradorita, con un descenso algo rápido de temperatura, el intervalo de cristalización sería de  $1.490^\circ$  a  $1.370^\circ$  que, evidentemente, no corresponde con la realidad,



porque la fase líquida no era simplemente binaria cuando se depositaron los microlitos, ni se tiene en cuenta la importancia de los gases y vapores. Es muy probable que se hayan consolidado a mucha más baja temperatura, escapando después los gases con respeto para los microcristales. Me sirve de base para dicha estimación, el hecho de que la lava aun fluía a muy pequeña velocidad, como lo demuestra la orientación de los microlitos feldespáticos, con cierto paralelismo, en la fig. 52. Otra consideración valorable, es que cuando el enfriamiento ha sido rápido no existen microlitos feldespáticos; sus gérmenes han quedado en el vidrio, mientras que la augita y la mica ya se han formado. Este último mineral se disocia a 850° C., constituyendo un termómetro geológico. Tal vez el estudio de la disposición cordada, pudiera conducir a alguna investigación sobre este particular.

QUÍMICO.—El análisis químico, realizado en nuestro laboratorio por el ingeniero Sr. Menéndez Puget, ha dado el resultado siguiente:

SiO <sub>2</sub> .....	43,30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	16,95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	3,62
FeO .....	7,70
MgO .....	5,72
CaO .....	10,49
Na <sub>2</sub> O .....	4,74
K <sub>2</sub> O .....	2,34
MnO .....	0,06
TiO <sub>2</sub> .....	4,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	0,74
CO <sub>2</sub> .....	—
H <sub>2</sub> O .....	0,30

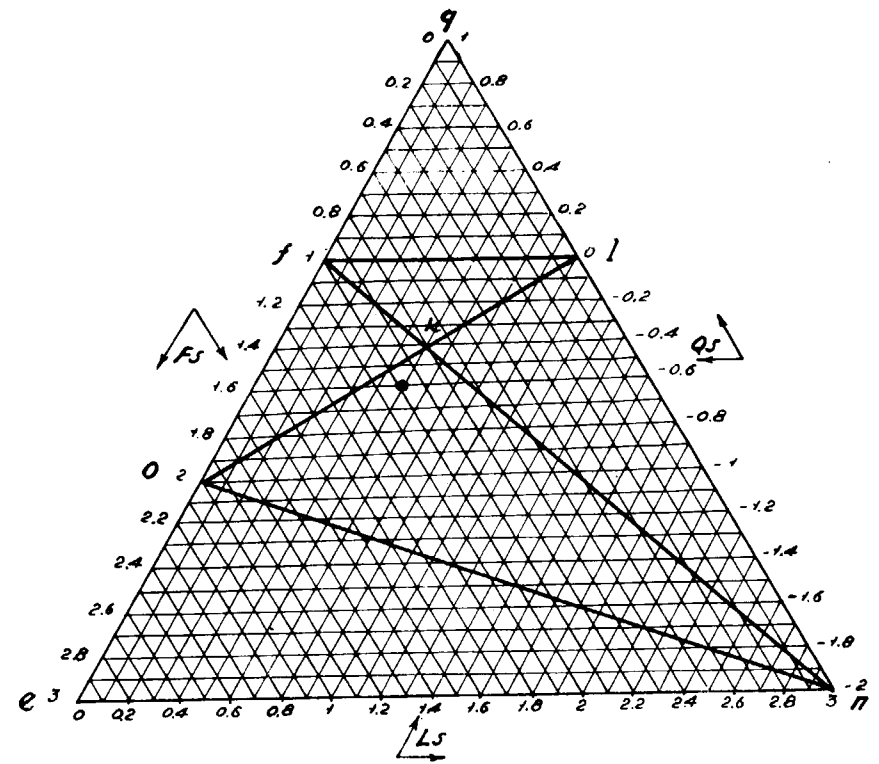


Fig. 54.—Proyección Ls-Fs-Qs de la muestra tomada en la carretera (Las Manchas).

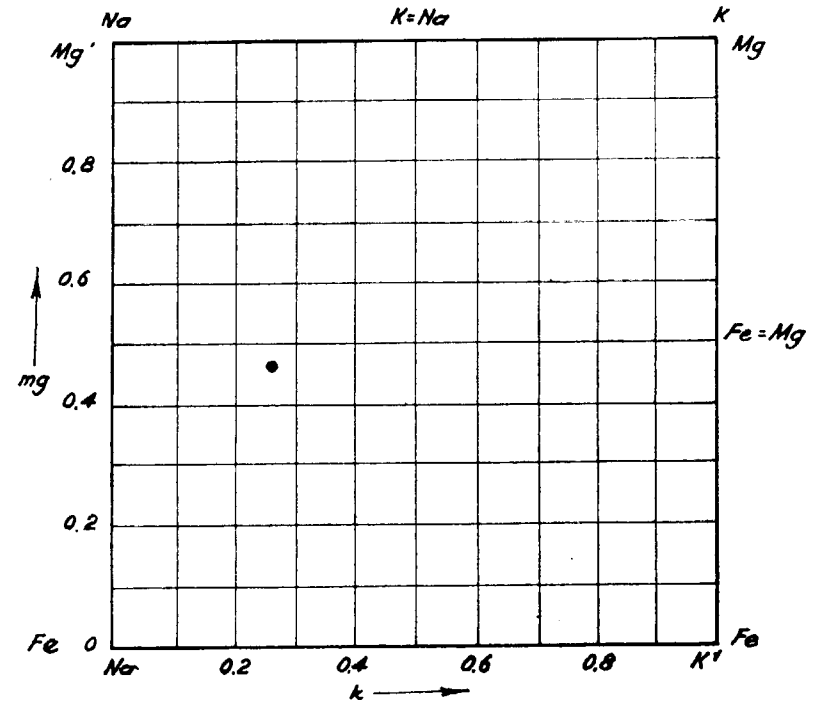


Fig. 55.—Diagrama K-mg de la muestra tomada en la carretera (Las Manchas).

Los números de Niggli que he calculado, son:

	si	al	fm	c	alk	k	mg	$\frac{\text{alk}}{\text{al-alk}}$
Magma basáltico nuestro .....	95	21,7	40,5	24,5	13,3	0,245	0,463	1,58
Magma gabbroico piroxenítico de Niggli	100	23,5	40,5	31,5	4,5	0,16	0,75	0,24

que, como queda consignado, corresponde al magma gabbroico piroxenítico de Niggli, capaz de producir, como producto vulcánico, un basalto rico en piroxeno. En la clasificación C. I. P. W. los parámetros de la norma tipo serían III. 5. 4. 5,5.

Su proyección Ls-Fs-Qs en el triángulo de Niggli (puesto que se tiene  $Ls = 0,596$  y  $Qs = -0,602$ ) será la representada en la fig. 54, que revela cierta tendencia alcalino-sódica del magma, de acuerdo con el análisis micrográfico.

El valor de  $mg$  resulta un poco bajo, a causa del elevado que tiene  $fm$  por la influencia del hierro. Si prescindiésemos de este último mineral, obtendríamos  $mg=0,945$ . Su proyección en el diagrama  $k-mg$  ocupará el lugar señalado en la fig. 55.

ESPECTROQUÍMICA.—Un análisis espectral realizado en nuestro laboratorio por el ingeniero Sr. López de Azcona, acerca de los restantes elementos contenidos en esta roca, ha suministrado las proporciones siguientes:

$$\text{Pb y Cr} < 10^{-4} \quad \text{Cu} \leq 10^{-4}$$

$$\text{Ba, Zn y Cd} < 10^{-5} \quad \text{Zn, Sn, Ag y Va} \leq 10^{-5}$$

\* \* \*



Fig. 56.—Basaltita del O. de la carretera. Luz polarizada,  $\times 100$  aumentos. En el centro un cristal de augita. Microlitos de labradorita (en blanco, formas alargadas). Vacuolas (en blanco, formas irregulares). Vidrio de la pasta (en negro).



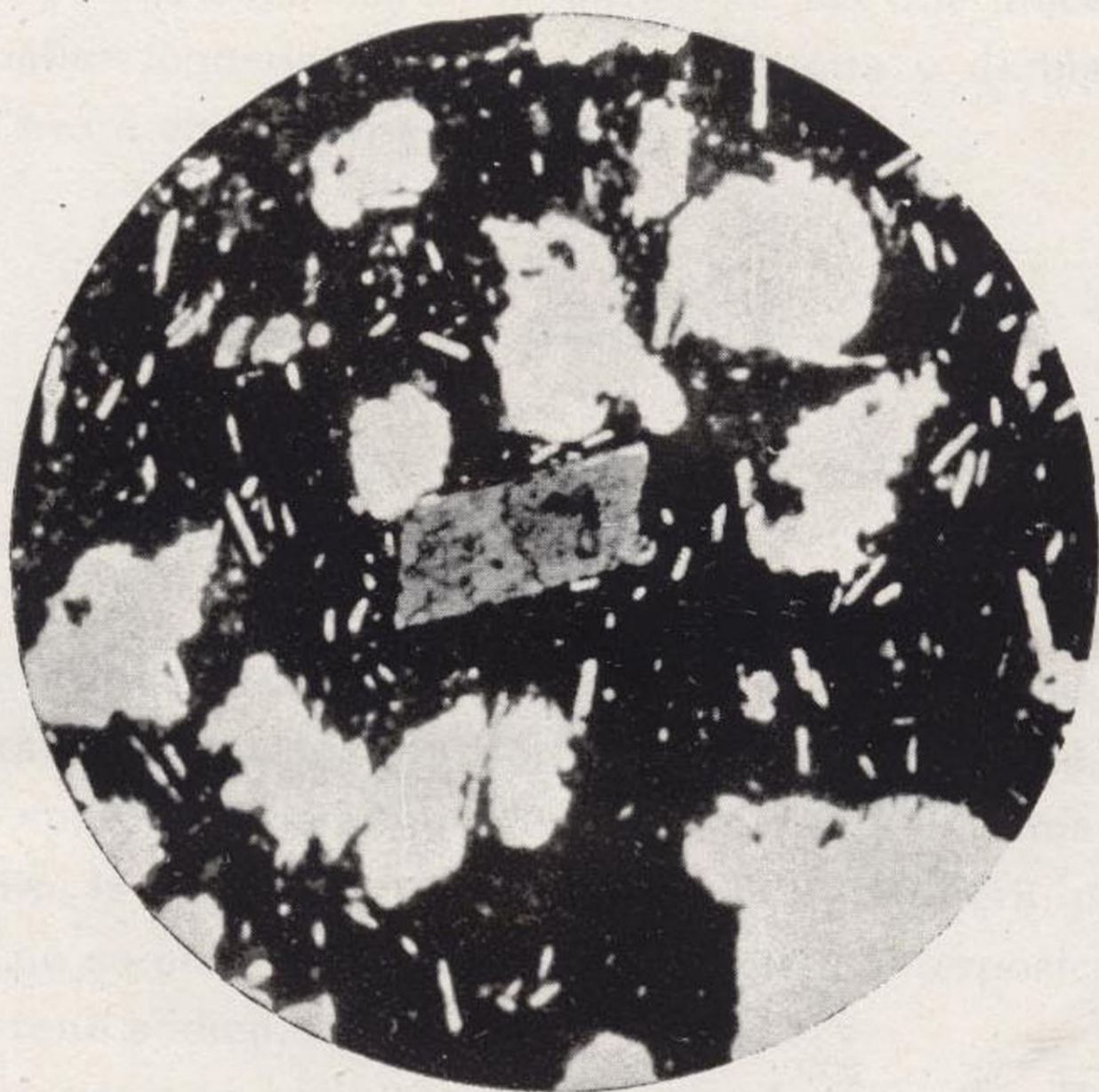


Fig. 56.—Basaltita del O. de la carretera. Luz polarizada,  $\times 100$  aumentos. En el centro un cristal de augita. Microlitos de labradorita (en blanco, formas alargadas). Vacuolas (en blanco, formas irregulares). Vidrio de la pasta (en negro).



Hemos considerado la muestra mejor cristalizada para que su descripción pudiera ser más completa, pero lo más frecuente es que hayamos obtenido preparaciones microscópicas que constituyen vitrofiros, en los que únicamente se hallan fenocristales pequeños de augita y de biotita en una pasta vítrea sumamente vacuolar.

#### **b) Muestra del Oeste de la carretera**

**MACRÓGRAFÍA.**—Es una roca de color negro finamente vacuolar y análoga a la anterior.

**MICROGRAFÍA.**—Se resuelve con una estructura hipocristalina y una textura porfírica vacuolar (fig. 56), en la que aparecen como fenocristales únicos, y de tamaño pequeño, la augita. Es también ferrífera y titanífera, pero en ella no se percibe, ópticamente, ninguna interposición de piroxeno sódico.

La pasta se halla constituida por algunos microlitos feldespáticos que, por sus índices de refracción y demás propiedades ópticas, deben clasificarse como labradorita. Se hallan maclados según la ley de la albita, pero poco repetida. La augita, en la pasta, no se halla diferenciada del vidrio, el cual contiene en gran proporción.

**CLASIFICACIÓN.**—Se trata, por consiguiente, de un basalto sin olivino, o basaltita, de los autores franceses.

**QUIMISMO.**—El análisis químico de esta muestra ha dado el resultado siguiente:

SiO <sub>2</sub> .....	44,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	18,04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	4,80
FeO.....	6,44
MgO.....	4,77
CaO.....	10,04
Na <sub>2</sub> O.....	4,00
K <sub>2</sub> O.....	3,12
MnO.....	0,03
TiO <sub>2</sub> .....	3,95
NiO.....	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	0,43
CO <sub>2</sub> .....	—
H <sub>2</sub> O.....	0,20

y los parámetros de Niggli calculados, arrojan los valores siguientes:

	si	al	fm	c	alk	k	mg	$\frac{alk}{al-alk}$
Magma nuestro .....	101	24	38,1	24,6	13,3	0,34	0,426	1,24
Magma gabbroide piroxenítico de Niggli	100	23,5	40,5	31,5	4,5	0,16	0,75	0,24

de manera que, según su quimismo, corresponde a un magma tipo análogo al anterior. Sin embargo, su representación ( $Ls=0,515$  y  $Qs=-0,517$ ) en el triángulo Ls-Qs-Fs (fig. 57) revela que es bastante menor su tendencia alcalina. El alto valor obtenido por nosotros para  $\frac{alk}{al-alk}$ , como en el caso anterior, es debido a la influencia de la composición de la plagioclasa sobre el magma tipo. El valor de  $mg$  resulta ahora aun más bajo, por la razón antedicha en el caso anterior. Su proyección en el diagrama  $k-mg$  se halla consignada en la fig. 58.

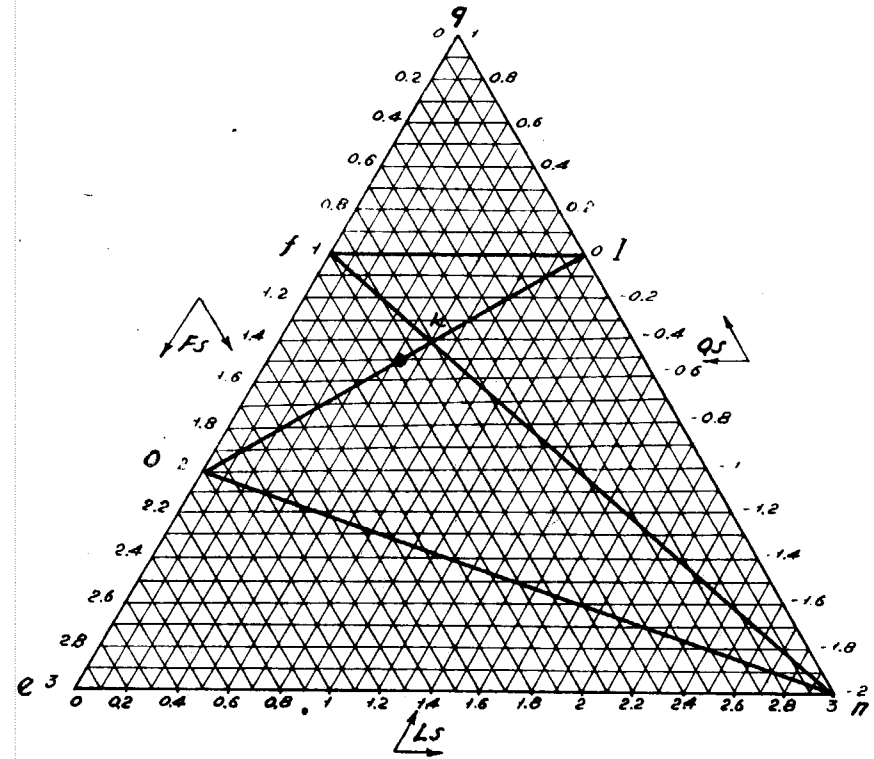


Fig. 57.—Proyección Ls-Fs Qs de la muestra del Oeste de la carretera.

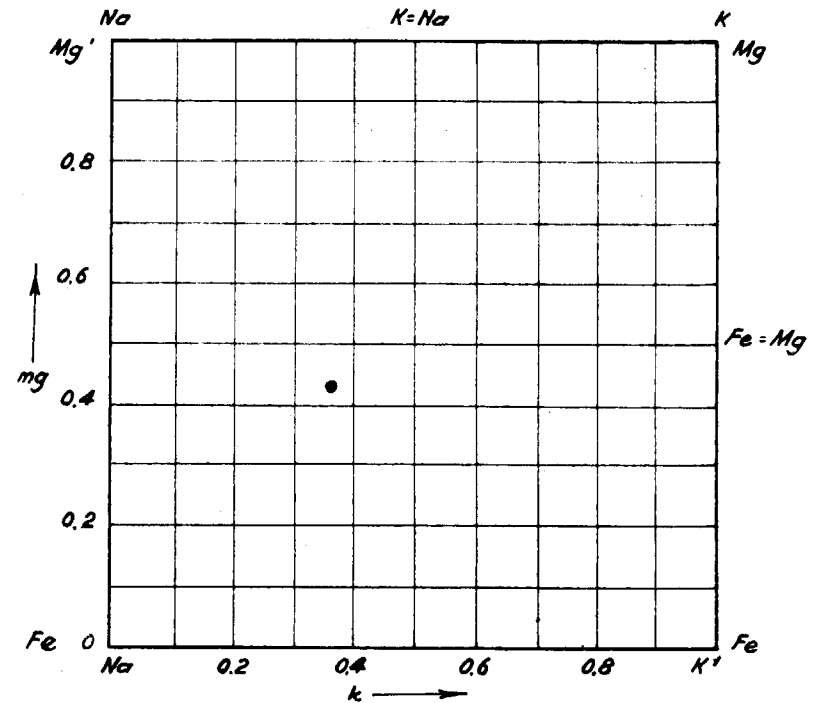


Fig. 58.—Diagrama K-mg de una muestra de lava del Oeste de la carretera.

Su quimismo comprueba que se trata de un magma basáltico, rico en piroxeno.

**c) Muestra tomada al Este de la carretera**

Según puede observarse en la fig. 59, se trata de un vitrofiro, en el que no existen más que algunos cristales de augita en una masa de vidrio y una red vacuolar.

Su quimismo nos conduce a la representación gráfica de Niggli, consignada en las figs. 60 y 61, lo cual revela que se trata de un magma análogo al de la muestra primera. La roca es un basalto vitrofírico, sin olivino, o sea una basaltita vitrofírica.

Como quiera que éstas son las muestras más típicas que hemos obtenido y, como vemos, sumamente análogas entre sí, prescindimos de la descripción de otras varias que hemos examinado, para evitar inútiles repeticiones.

**d) Muestras de la lava actual del Llano del Bonco**

Las muestras que hemos podido obtener se comprende que no pasen de ser más que vidrios, o cuando más vitrofiros, en los que sólo se perciben algunos cristales de augita. Por sus caracteres ópticos y por su quimismo es un basalto vitrofírico sin olivino, o sea una basaltita, sumamente análoga a las anteriores, que no merece que nos extendamos en repetir su descripción. El análisis espectral ha dado un resumen igual al de la ceniza, que después consignamos. Lo propio puede manifestarse acerca de la lava extrusada por el Duraznero.

Cuando la erupción se consolide y podamos obtener muestras algo profundas reanudaremos su estudio petroológico.

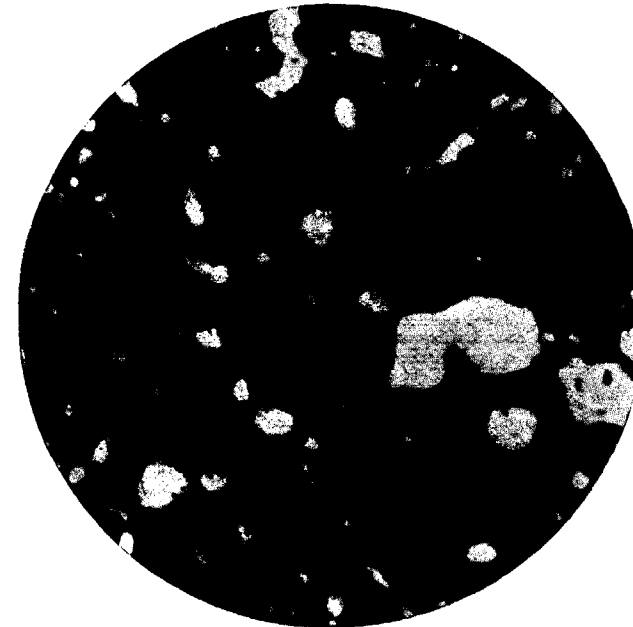


Fig. 59.—Basaltita vitrofírica o hialobasaltita del E. de la carretera. Luz polarizada,  $\times 100$  aumentos. Algunos gránulos de augita en una pasta vítrea (negra) y numerosas vacuolas (blanco).

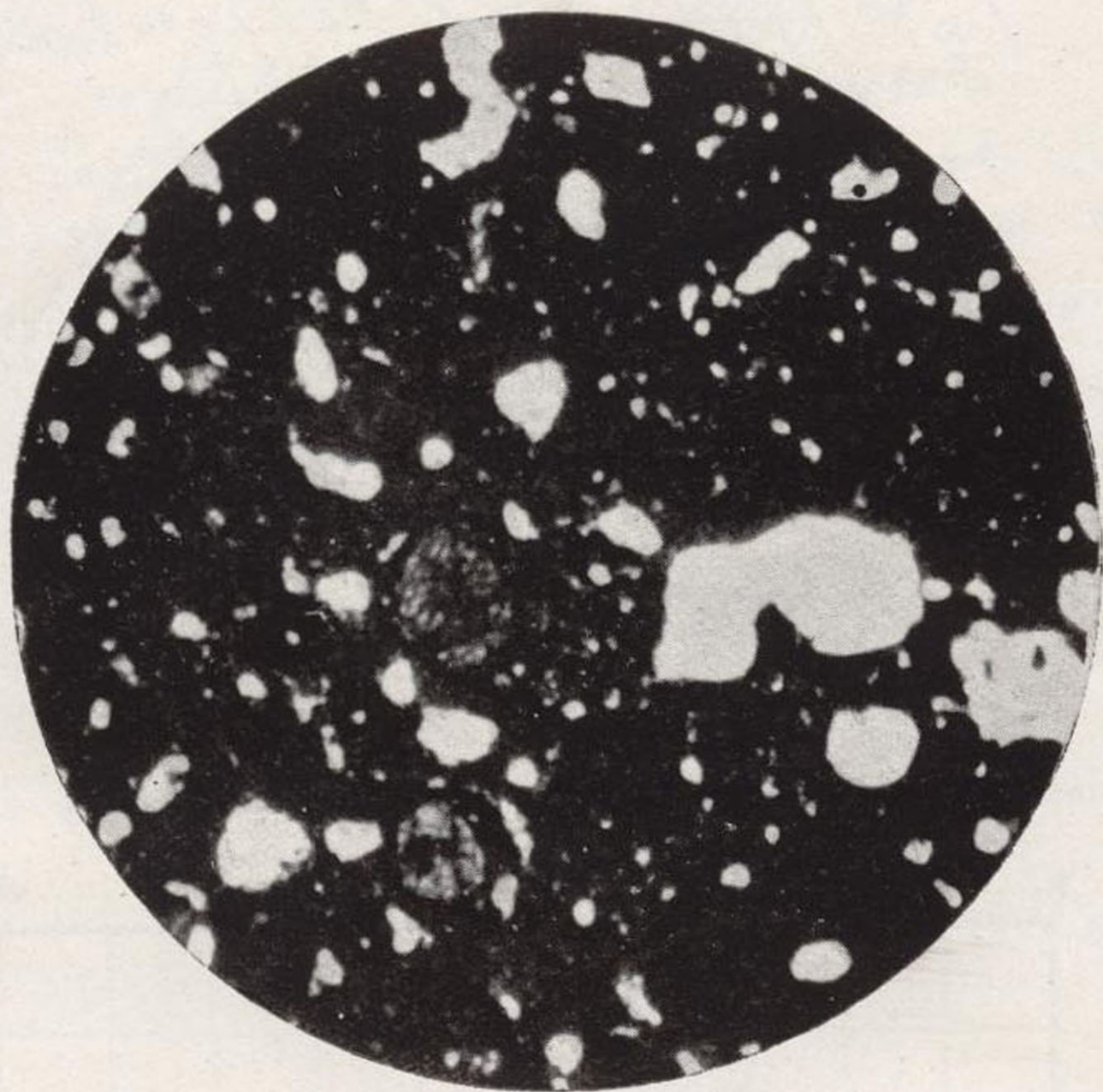


Fig. 59.—Basaltita vitrofírica o hialobasaltita del E. de la carretera. Luz polarizada,  $\times 100$  aumentos. Algunos gránulos de augita en una pasta vítrea (negra) y numerosas vacuolas (blanco).



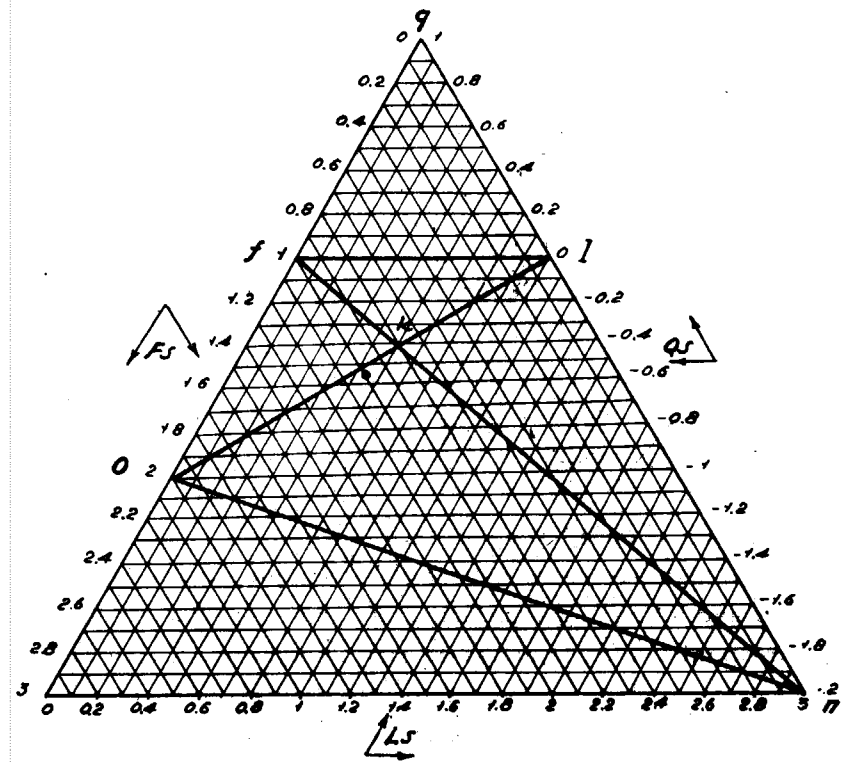


Fig. 60.—Ls-Fs-Qs de una muestra de lava al Este de la carretera.

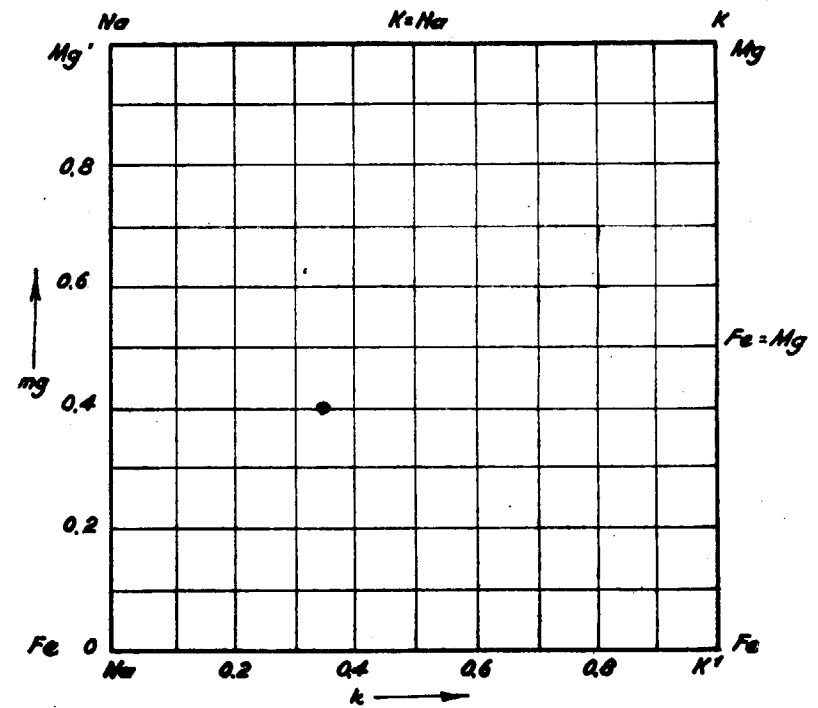


Fig. 61.—Diagrama K-mg de una muestra de lava (n.º 2).



## 2) Estudio de la ceniza o cinerita

Comenzamos por los análisis de una muestra del polvo volcánico de Hoyo Negro, tomada en la fonda de Monterey, de la ciudad de El Paso, el día 15 de julio.

**MACROGRAFÍA.**—Es un polvo finísimo, de color gris oscuro, algo pardusco, áspero al tacto, que en un tubo de ensayo forma una superficie compacta, pero que como corresponde a los tamaños de sus elementos, se cuartea o agrieta al menor movimiento. No ejerce acción sobre la aguja imantada pero contiene minerales atraíbles por campos magnéticos intensos.

**MICROGRAFÍA** (figura 62).—Los tamaños observados al microscopio, varían desde el límite de visibilidad hasta 0,28 mm., y un tamaño bastante corriente en los elementos de este polvo es el de 0,10 a 0,15 mm. En su constitución mineralógica predominan los granos de vidrio volcánico, pero sin ofrecer cortes de forma cóncava, como es frecuente en las cineritas, sino que presentan caras bastante planas y formas subredondeadas, según puede observarse en la fotomicrografía que acompañamos. Se observan algunos fragmentos de biotita, de augita, de magnetita, y vidrio como elementos magmáticos, pero, en general, el feldespato es bastante escaso en las preparaciones microscópicas que hemos examinado.

**ANÁLISIS QUÍMICO.**—Realizado en nuestro laboratorio por el ingeniero Sr. Menéndez Puget, ha dado la composición química siguiente, consignando los nombres de los



Fig. 62.—Cineritas del Hoyo Negro. Luz polarizada,  $\times 30$  aumentos. Fragmentos de augita (uno semi-transparente, un poco al O. del centro de la foto, con una inclusión redonda de magnetita), vidrio (negro) y otros de biotita y labradorita.

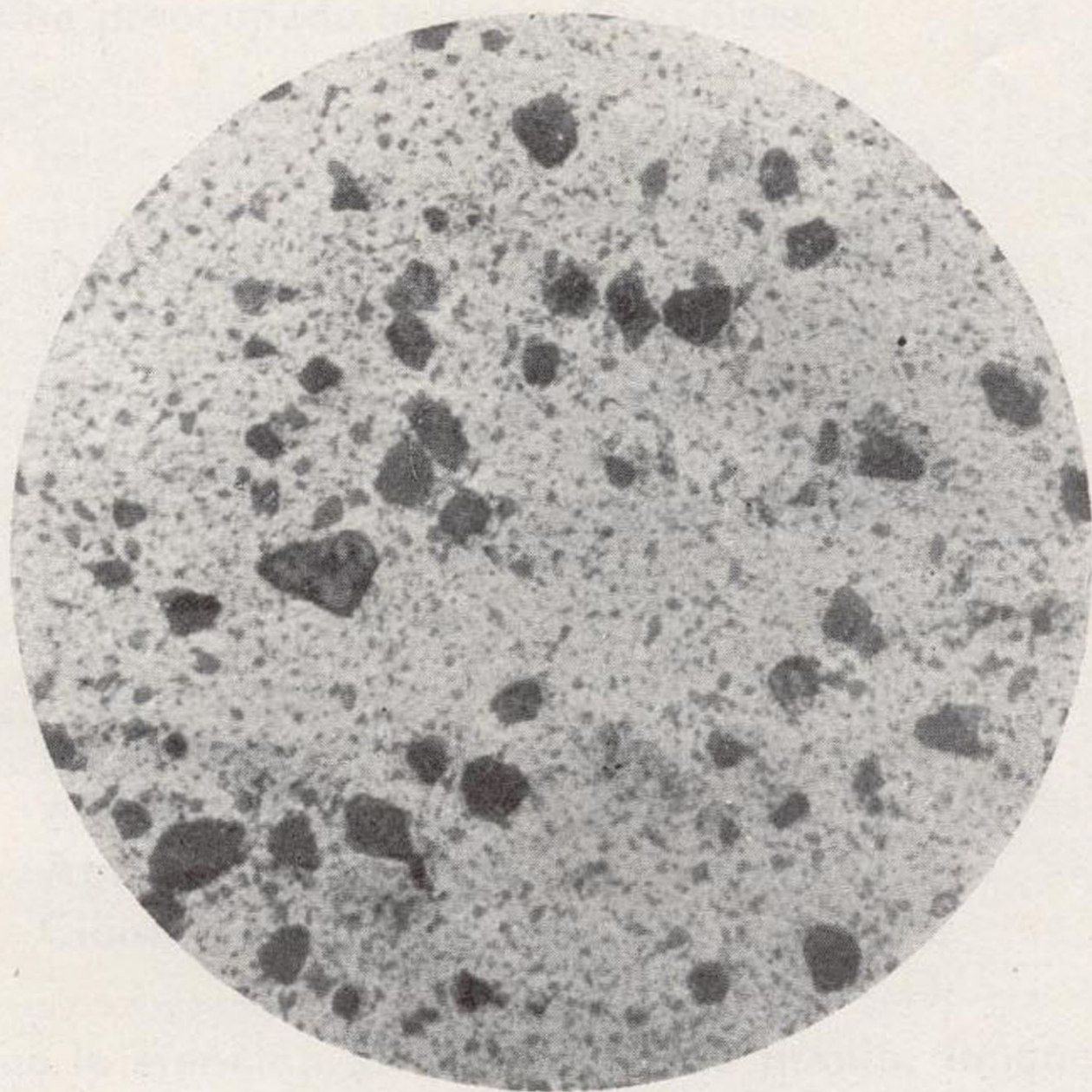


Fig. 62.—Cineritas del Hoyo Negro. Luz polarizada,  $\times 30$  aumentos. Fragmentos de augita (uno semi-transparente, un poco al O. del centro de la foto, con una inclusión redonda de magnetita), vidrio (negro) y otros de biotita y labradorita.



ompuestos, para mejor comprensión por las personas no amiliarizadas con la química, puesto que esta Memoria se estina a la publicidad, y son muchos los agricultores a uienes ha preocupado la lluvia de cenizas.

Sílice .....	SiO <sub>2</sub>	43,10 %
Alúmina .....	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,00 %
Óxido férrico.....	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,74 %
Óxido ferroso .....	FeO	2,00 %
Magnesia .. .....	MgO	1,42 %
Cal .....	CaO	8,92 %
Sosa .....	Na <sub>2</sub> O	4,00 %
Potasa .....	K <sub>2</sub> O	3,84 %
Óxido de manganeso	MnO	0,02 %
Óxido de titanio ....	TiO <sub>2</sub>	3,09 %
Anhídrido fosfórico .	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,58 %
Anhídrido carbónico.	CO <sub>2</sub>	0,30 %
Agua .....	H <sub>2</sub> O	1,30 %
Cloruro amónico....	ClNa	indicios.

Llama la atención su contenido de titanio, lo que es debido a la presencia de la ilmenita, interpenetrada o aislada con la magnetita y a la augita titanífera.

Su proporción de potasa, anhídrido fosfórico y los indicios de cloruro amónico, hacen presumir que constituirán un buen abono para la agricultura, excepto para el cultivo del tabaco.

ANÁLISIS ESPECTRAL.—Estudiada en nuestro laboratorio de espectroquímica, por el ingeniero Sr. López de Azcona, podemos completar el análisis químico anterior, con el hallazgo de los siguientes elementos, encontrados en dicho polvo vulcánico.

Cobre, plomo y cromo, en proporción igual o menor de 1 por 10.000.

Estaño, plata, vanadio y cobalto, en proporción igual o menor de 1 por 100.000.

Bario, zinc y cadmio, en proporción menor de 1 por 100.000.

QUIMISMO.—Hemos calculado los parámetros de Niggli, obteniendo los siguientes resultados:  $si = 103,5$ ;  $al = 31,2$ ;  $fm = 30,6$ ;  $c = 23,0$ ;  $alk = 15,2$ ;  $qz = -57,3$ ;  $k = 0,386$ ;  $mg = 0,17$ ;  $ti = 0,06$ .

De aquí se deduce que no debe contener cuarzo libre, como ya habíamos observado en las preparaciones microscópicas. El magma normativo de Niggli que parece más análogo, es el ya citado gabbroico piroxenítico, cuyos parámetros han sido consignados en los casos anteriores. Los correspondientes a la ceniza son:

si	al	fm	c	alk	k	mg	alk.
103,5	31	30,6	23	15,2	0,39	0,17	alk. al-alk 0,965

y su representación en el triángulo de Niggli ( $Ls = 0,36$  y  $Qs = -0,55$ ) (fig. 63), prueba que se trata de un magma gabbroide alcalino-cálcico, que, como tipo vulcánico, ha producido un basalto sin olivino o basaltita de los petrólogos franceses. Su proyección en el diagrama  $k - mg$  (figura 64), resulta, ciertamente, muy baja, a causa del hierro, pero no teniendo en cuenta el FeO obtendríamos 0,92, que corresponde a un magma gabbroideo.

**Otras muestras de cenizas**

HOTEL MONTERREY.—Al final de la lluvia de cenizas, tomamos una nueva muestra en el mismo lugar que la

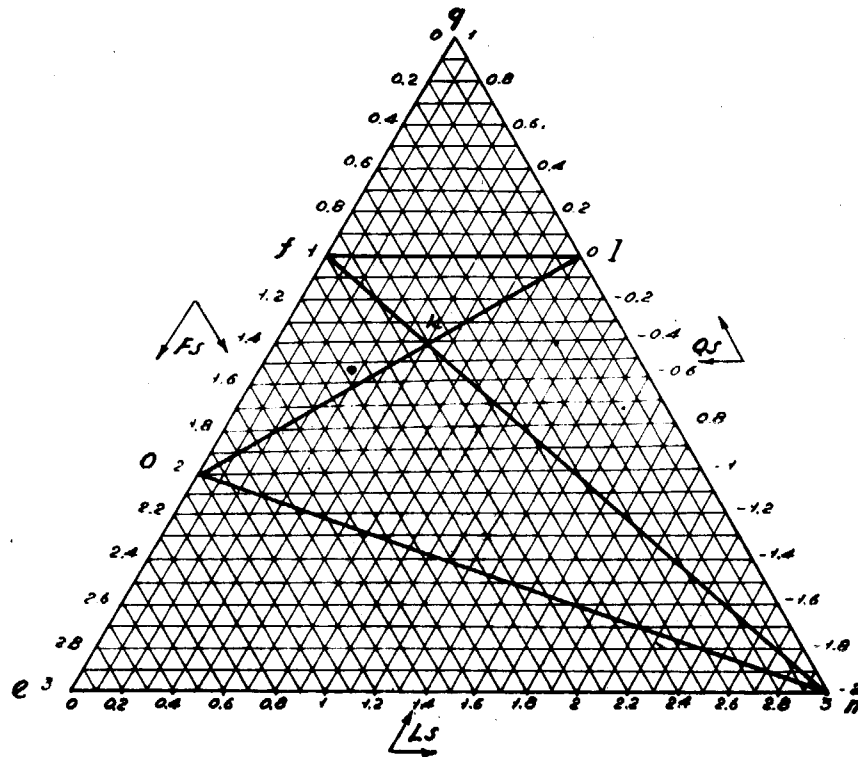


Fig. 63.—Proyección Ls-Fs-Qs de la ceniza.

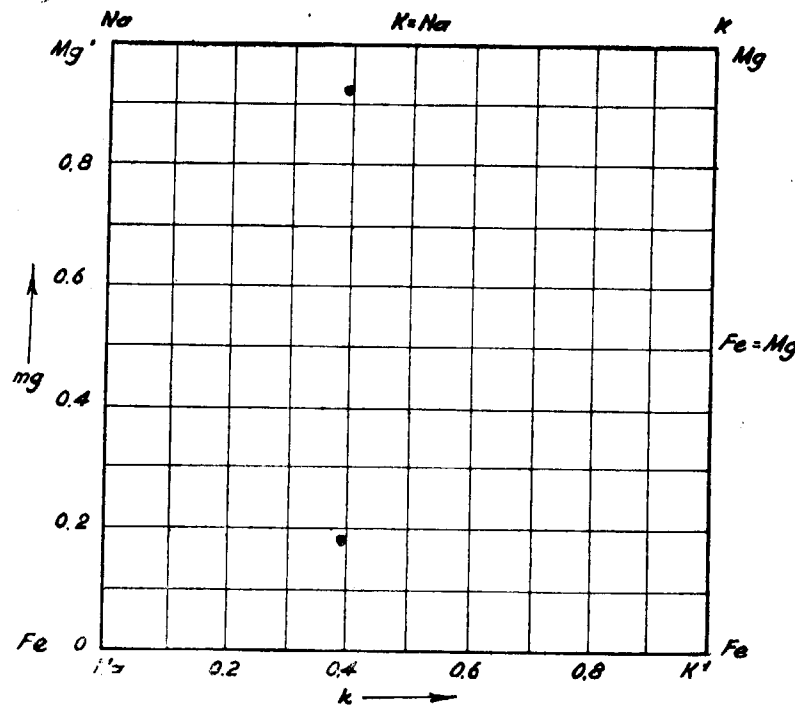


Fig. 64.—Diagrama K-mg de la ceniza.

primera, y como caracteres más distintivos de los que anteceden, citaremos que es algo más oscura, de un color pardo café, y constituida por elementos más voluminosos. En su análisis con el microscopio, hemos encontrado partículas desde 0,015 mm. hasta 0,5 mm., por la mayor influencia del viento, siendo análoga su composición mineralógica, aunque parece que predominan un poco más las partículas vítreas, también sin las concavidades corrientes en las cineritas, lo cual obliga a suponer que el escape de los gases no ha tenido un carácter muy explosivo. Además de las partículas de vidrio, encontramos trozos de augita, biotita y labradorita, con escasa magnetita, lo cual, por tratarse de elementos pesados, revela la influencia del viento en la sedimentación, como queda dicho.

Creemos que lo reseñado sea suficiente para darse cuenta de los caracteres físicos y químicos de la ceniza, por lo que omitimos los resultados obtenidos con otras muestras, y que son análogos a los anteriores.

## IX. CLASIFICACION Y NOMBRE DEL VOLCÁN

Tal vez debiera prescindir de este capítulo, que pudiera ser objeto de discusión, en vista de los diversos juicios que se han emitido durante la erupción, y en atención a que la diagnosis no arroja ninguna luz nueva sobre los fenómenos observados; pero no estará sobrada una modesta opinión más sobre las ya circuladas. A mi entender, el loable intento de Lacroix, pudo prestar algún servicio a la ciencia en la época de su realización, pero, actualmente, no debemos conservarle más que para expresar ideas economizando palabras. Yo no creo que existan tipos vulcánicos, sino, simplemente volcanes, como algunos médicos modernos opinan que no existen enfermedades, sino enfermos. Un microbio específico que causa la muerte de muchas personas, no produce en otras ni la más ligera febrícula.

La clasificación de Lacroix, reduciendo a cuatro los tipos de volcanes: peleanos, estrombolianos, vulcanianos y hawaianos, es excesivamente simplista, propia para una erudición popular o para el cultivo de una pseudo-ciencia, pero no tiene en cuenta muchos de los factores que deben caracterizar a cada prototipo, y entre ellos: la naturaleza de los terrenos atravesados, el aparejo vulcánico creado,

la presencia o ausencia de grietas o fisuras de flanco, los fenómenos salientes acontecidos en la erupción, la naturaleza de los materiales extrusados, y, por último, cuando existe lava, la clasificación petrológica de la roca producida. Por otra parte, la clasificación de un volcán resulta difícil porque, generalmente, es una suma de numerosas erupciones que no tienen denominadores comunes, como sucede en La Palma, que al lado de erupciones ácidas, explosivas, vulcanianas, encontramos otras básicas, pacíficas, hawaianas y tanto unas como otras habrán tenido períodos strombolianos y quién sabe si nubes ardientes de tipo peleano en las erupciones explosivas. Por ello, debe tenderse en vulcanología a clasificar sólo la erupción y no el volcán, y debe hacerse así porque dicha ciencia se halla, todavía, en período analítico y cualquiera síntesis de sus conocimientos resultaría prematura.

Todo intento de clasificación vulcanológica, verdaderamente científica, ha de partir del hecho de que una erupción, en el complejo laboratorio terrestre, es un fenómeno trifásico, compuesto por la bifase gaseosa-líquida constituida por la lava, y la fase sólida formada por los terrenos que atraviese. Y aun queda otro factor no menos importante: la magnitud de la falla, que se traduce en el volumen de la cámara magmática. Lavas distintas, por su mayor o menor facilidad para desprender los gases, producirán efectos diferentes aun en terrenos similares, y una misma lava puede producir arquitecturas vulcánicas diversas, según la naturaleza de los terrenos que atraviese. Esto, que parece una especulación teórica, se halla plenamente confirmado por la experiencia. Por ejemplo: lavas de naturaleza basáltica, que desprenden con mucha facilidad los gases ocluidos, producen efectos distintos según que se abran paso en cráteres de actividad solfatárica, como el Stromboli, que

cuando ven la luz a través de conos extinguidos o en terrenos vírgenes, aunque vulcánicos, como el Paracutín, en Méjico. En nuestro volcán, las tres bocas abiertas se han comportado de distinto modo, constituyendo la mejor demostración de que conviene huir de generalizaciones.

Hablando en términos generales, ha tenido, en mi opinión, un período levemente explosivo, como todos los volcanes, análogo al del Paracutín, lanzando las columnas de humo en Hoyo Negro; un breve período estromboliano con salida de piedras incandescentes en Duraznero, los días 28 de junio y 6 de julio, y un largo período hawaiano, durante el cual la lava se ha derramado sin convulsiones por el Llano del Banco, y se ha presentado, finalmente, un período solfatárico. Por lo mismo que resulta difícil señalar sus analogías con otros existentes, son bastante notables sus peculiaridades, que dejamos brevemente reseñadas en el capítulo anterior, por lo que no cabe asimilarle a ningún volcán conocido, como no sea desde un punto de vista concreto. Quizá, en conjunto, por su lava de tipo basáltico y por sus proyecciones de materiales sólidos, el más parecido de Europa sea el Stromboli, en sus períodos más violentos, aunque, como es sabido, este volcán se caracteriza no por estos períodos, sino por una depresión rectangular de 1.900 m. de largo por 1.000 de ancho —notable diferencia con el nuestro— en la que se alojan los cráteres. La lava hirviente se eleva en ellos por la tensión de los gases, y éstos proyectan cenizas y escorias, con un cierto ritmo que no es peculiar del Stromboli, sino que se ha observado en muchos volcanes, y que corresponde a las pulsaciones de los gases en la cámara magmática, como anteriormente he mencionado, puesto que este fenómeno se ha presentado también en Hoyo Negro.

La regularidad con que el Stromboli se comportaba du-

rante tantos siglos, caracterizada por la ebullición de la lava, sin proyecciones violentas —otra diferencia con el nuestro —indujo a Sainte Claire Deville a considerar el *período estromboliano*, creyendo que podrían generalizarse a todos los volcanes los tres períodos: *explosivo*, *estromboliano* y *solfatárico*; pero el Vesubio no se comportaba de este modo, y en Java existían volcanes sin período estromboliano, que pasaban de las explosiones más violentas al estado solfatárico. Por último, las efusiones lávicas del Stromboli son raras y escasas, pero sus lavas son basálticas. El Stromboli, antiguo faro del Mediterráneo, lleva más de 2.300 años de actividad, y desde hace más de un siglo lanza fumarolas ácidas, que el reflejo de la lava fundida ilumina. Tales son, a mi juicio, las analogías y diferencias entre el Stromboli y el Nambroque, que tal vez no coincidan con los puntos de vista que algunos geólogos adoptaron para considerarle como estromboliano.

En cuanto a la primera noticia publicada de que el volcán era de tipo peleano, no merece ser comentada. Sería tanto como confundir una andesita con un basalto: y una nube ardiente, que causó la muerte de todos los habitantes de Saint Pierre, con las columnas de humo que no han causado ninguna.

\* \* \*

Otro tema que es obligado tratar, por las discusiones que ha suscitado entre personas doctas y eruditas, y que acometo sin pretensión de acierto, es el nombre propio del volcán; un nombre genérico que comprenda los tres cráteres del Duraznero, del Hoyo Negro y del Llano del Banco, nombre que, en verdad, poseen todos los volcanes del mundo. A las dificultades filológicas, históricas y topo-

nímicas se unen las cartográficas, pues los mapas consultados asignan altitudes algo diferentes a las cimas de la zona volcánica.

Para unos, el vulcanólogo debe recoger los nombres vulgares, los que alimentan y dan vida al idioma, renovando los vocablos cada día, como la vida renueva las células. Para otros, el hombre de ciencia debe ser respetuoso con lo doctrinal y académico, con los preceptos, con la etimología, con la herencia de nuestros mayores.... No dejará de extrañar a muchos palmeros, que en esta Memoria haya escrito Bidigoyo y Nambroque, en lugar de Berigoyo y Mambroque, que es como el vulgo les denomina, pero por evitarme justas censuras, he optado por el segundo criterio de los que dejo señalados. La ciencia debe expresarse con un lenguaje de pretensiones científicas.

La vulcanología puede orillar muchas dificultades, sin que le sobrevenga responsabilidad por la denominación que adopte, puesto que los nombres geográficos y topográficos no los inventa, sino que los recoge de la tradición histórica del lugar. Ha de orientar al lector para que pueda visitar, comprobar, ampliar y mejorar lo leído, fines que no conseguiría, en este caso, con la denominación del «volcán de la isla de La Palma», porque en la isla existen tantos volcanes como plátanos en un platanar. Tampoco lo lograría denominándole «volcán de San Juan», aunque en la isla existen precedentes de tal nomenclatura —San Antonio y Santa Cecilia, por ejemplo— porque al estudiar, petrológicamente, la lava, forzosamente habría de distinguir el vulcanólogo visitante, la lava del Duraznero y la del Llano del Banco, en los marbetes de sus preparaciones microscópicas. Quiero decir con esto, que es preciso conservar los nombres de los cráteres, que, en nuestro caso, son adventicios y pueden y deben llevar el nombre del pa-

raje en que están enclavados: *Duraznero* —también he leído *Durazno*—, *Llano del Banco* y *Hoyo Negro*, si bien es conveniente un nombre genérico que comprenda la erupción.

Basta observar las fotografías desde avión insertas en este informe, para adquirir el convencimiento de que todas estas cimas de la cadena montañosa no son más que sucesivos cráteres de erupciones pretéritas, que, en profundidad, tienen una raíz común. Es cierto que, topográficamente, el macizo del Nambroque está bien separado del Bidigoyo por una degollada o collado en la barranquera, donde comienza el Llano de la Barquita, y del Duraznero y Montaña Pelada por otro collado (o degollada, según la denominación local), del espinazo de la Cumbre Vieja, entre el cerro de La Paila y las faldas del Duraznero y Nambroque, pero todo esto no obedece más que a la situación de los conos adventicios y a otra causa ajena al vulcanismo, como es la erosión debida a los agentes atmosféricos.

Reconstruyendo la paleotopografía, parece que debió existir un tiempo en que los volcanes dominantes fueron el Bidigoyo y el Nambroque —de etimología guanche— y a uno de los dos cabe referir el vulcanismo actual. Aceptado esto, no es dudoso deducir que los dos han resultado afectados. El Duraznero y el Hoyo Negro son cráteres adventicios de aquel primitivo Nambroque —actualmente bastante desmantelado, con 1.913 m. de altitud— y durante la erupción se ha producido en la falda del Bidigoyo una fisura de ladera en el Llano del Banco. Por estas razones, considero la «Erupción del Nambroque» como título de esta Memoria, en la que se hace constar dicha fractura de flanco en el Bidigoyo. Es algo así, como una erupción del Vesubio, que prodújese, por causas internas, una fisura en

el viejo Somma, pues, a nuestro juicio, el Bidigoyo debe considerarse como el somma del Nambroque. Es un caso extraordinario, pero que ha sucedido en La Palma.

Esto no quiere decir, que al conservar los nombres locales de los cráteres —obsérvese que incluso como medio de expresión he tenido que distinguir el Duraznero 1.º y el 2.º, por lo cual dicha conservación constituye una necesidad—, no quepa en su denominación algún sinónimo popular, y así, uno de estos cráteres puede denominarse Duraznero o San Juan, según he venido consignando en páginas anteriores. Nació el primero y en el día de San Juan.

En la prensa canaria he leído que mi modesto nombre debía ser una bandera de tregua en la discusión, con lo cual he sentido la responsabilidad de un posible desacierto. Para atenuarle, debo manifestar que no he seguido ningún criterio personal, sino el que me traza la Vulcanología y la costumbre universal.



## X. CONSIDERACIONES FINALES

En un artículo titulado «Observaciones geológicas en los volcanes», comienza Sapper, el párrafo dedicado a las erupciones, con las palabras siguientes: «El geólogo que tenga la dicha de presenciar de cerca una erupción volcánica, será llamado por la propia Naturaleza a pensar sobre multitud de fenómenos de tan variados aspectos...». Pues bien, yo he tenido esa *dicha*, y reseñados quedan los múltiples fenómenos que se nos han presentado. Sin embargo, cuando el cielo oscurece con negros penachos, cuando la tierra tiembla, los pinares arden, las olas hierven, la ceniza ahoga y un río se enciende, ofreciendo un cuadro en el que todo se subvierte; si la dicha acude ¿no será porque la razón, también trastocada y revuelta, quiera aportarnos un ficticio deleite? Cuando todo ese nacer apocalíptico de monstruosas fuerzas naturales, tiene por cuna un hermoso vergel de nuestra patria, truncando, de golpe, la dulzura encantadora de la isla más bella del mundo, es de suponer que en el espíritu del geólogo se entable una lucha entre la ciencia y los sentimientos humanos, que la propia Naturaleza decide, conmoviendo al corazón para que venzan los últimos. No; no es una dicha contemplar el incendio de Roma.

La complacencia ha llegado, en mi caso, al ver casi extinguido el volcán, sin que haya causado ninguna víctima, hecho insólito que demuestra lo que puede conseguirse cuando existen autoridades locales ágiles en el pensamiento y ligeras en la actuación, secundadas por pueblos enteros que saben olvidarse de su yo, para no pensar más que en su circunstancia, como prueba del valor humano de la compenetración española.

El dolor por los daños materiales ha sido amortiguado con la compasión, pero no sólo con lástima y ternura, sino con socorros desde los primeros momentos, con suscripción espontánea en el Gobierno Civil, con generosos donativos de ajuares necesarios para habilitar alojamientos, en edificios públicos y en casas particulares, a más de los expeditos envíos de dinero del Gobernador Civil, Sr. Aspe Vaamonde, a quien he visto tan preocupado como si fuese un evacuado más. No les ha faltado a los palmeros los consuelos y auxilios de tal autoridad en sus reiteradas visitas, ni los del Capitán general de Canarias, Sr. García Escámez, en las suyas. También han asistido diversas personalidades de los ministerios, el propio Ministro de la Gobernación, y, finalmente, el Jefe del Estado, a propuesta de su Gobierno, adoptó a los pueblos damnificados: Llanos de Aridane, El Paso, Mazo y Fuencaliente. En resolución: que se ha puesto en evidencia un espíritu fraterno mayor que el que vemos en marcha por el mundo, cuando se producen grandes catástrofes. Y todo ello, sin que haya existido ni la más leve quemadura producida por la lava a ninguna persona de la isla.

Además, he tenido la suerte de que hayan colaborado conmigo mis distinguidos compañeros los Sres. Recondo y Castillo, y los excelentes ayudantes de minas Sres. Vidarte y Fernández. He sentido la satisfacción de que los

alcaldes y demás autoridades locales, me hayan facilitado mi labor, así como el Excmo. Sr. Gobernador y su secretario particular, Sr. Duque, quienes, además, me han orillado bastantes dificultades; de una entrevista para el mismo fin con el Excmo. Sr. Capitán general, etc., etc.; y es natural que ahora consigne mi gratitud a todos, en tonos tan expresivos como sean compatibles con el respeto que las autoridades merecen.

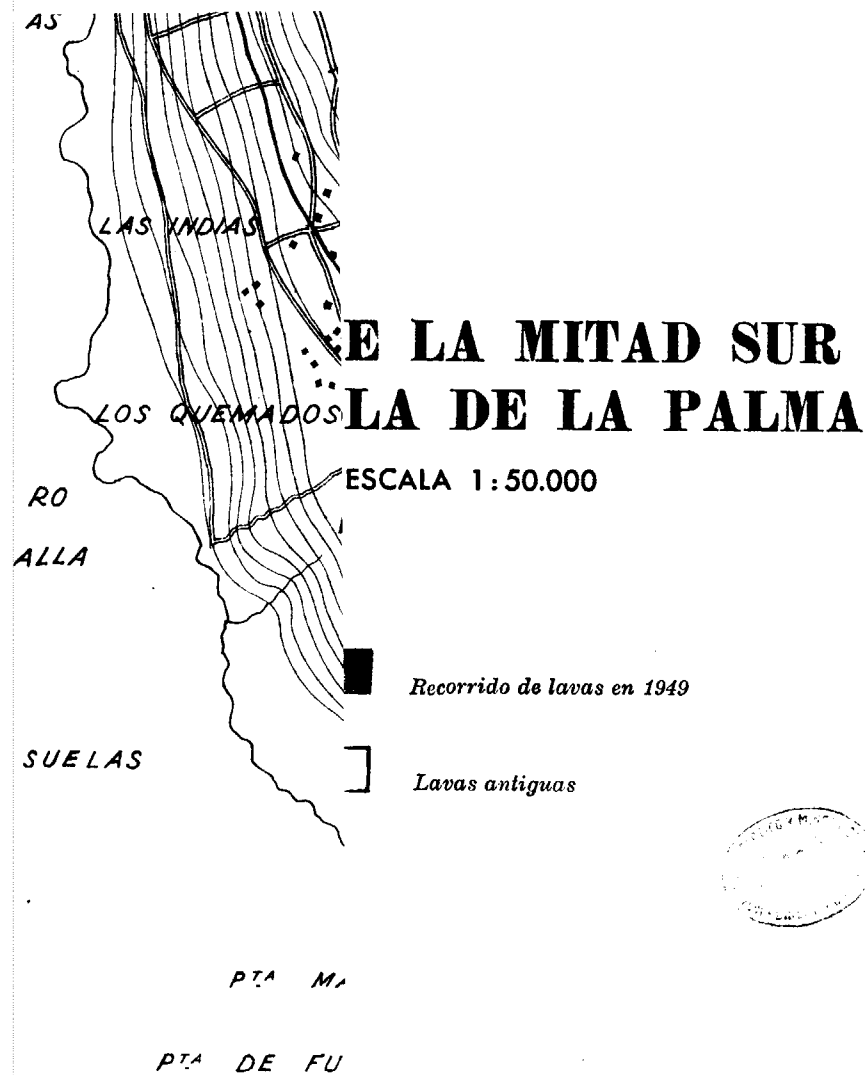
También presento iguales sentimientos al general señor Aymat, por cuya atención figuran en este informe unas fotografías de la Aviación Militar; al Sr. Lombardero, jefe del Servicio Topográfico del Ejército, por haberme proporcionado el levantamiento topográfico de las corridas de lava. Finalmente debo las gracias más cordiales a cuantos amigos me han suministrado datos y fotografías, cuyos nombres inscribo en cada lugar; a D. Antonio Pino, alcalde de El Paso, a quien, además de otras atenciones, debo la información del volcán de El Charco, y muchos datos valiosos; a D. Antonio Capote, de la fábrica de tabacos del mismo nombre, de quien soy deudor por varias noticias, y a tantos otros cuyos nombres omito, pero no olvido, para no hacer esta relación interminable. Si con mi modesta actuación he destruído alguna infundada alarma, o si he conseguido calmar alguna ansiedad en aquellos momentos de angustia, es también motivo de mi mayor satisfacción.

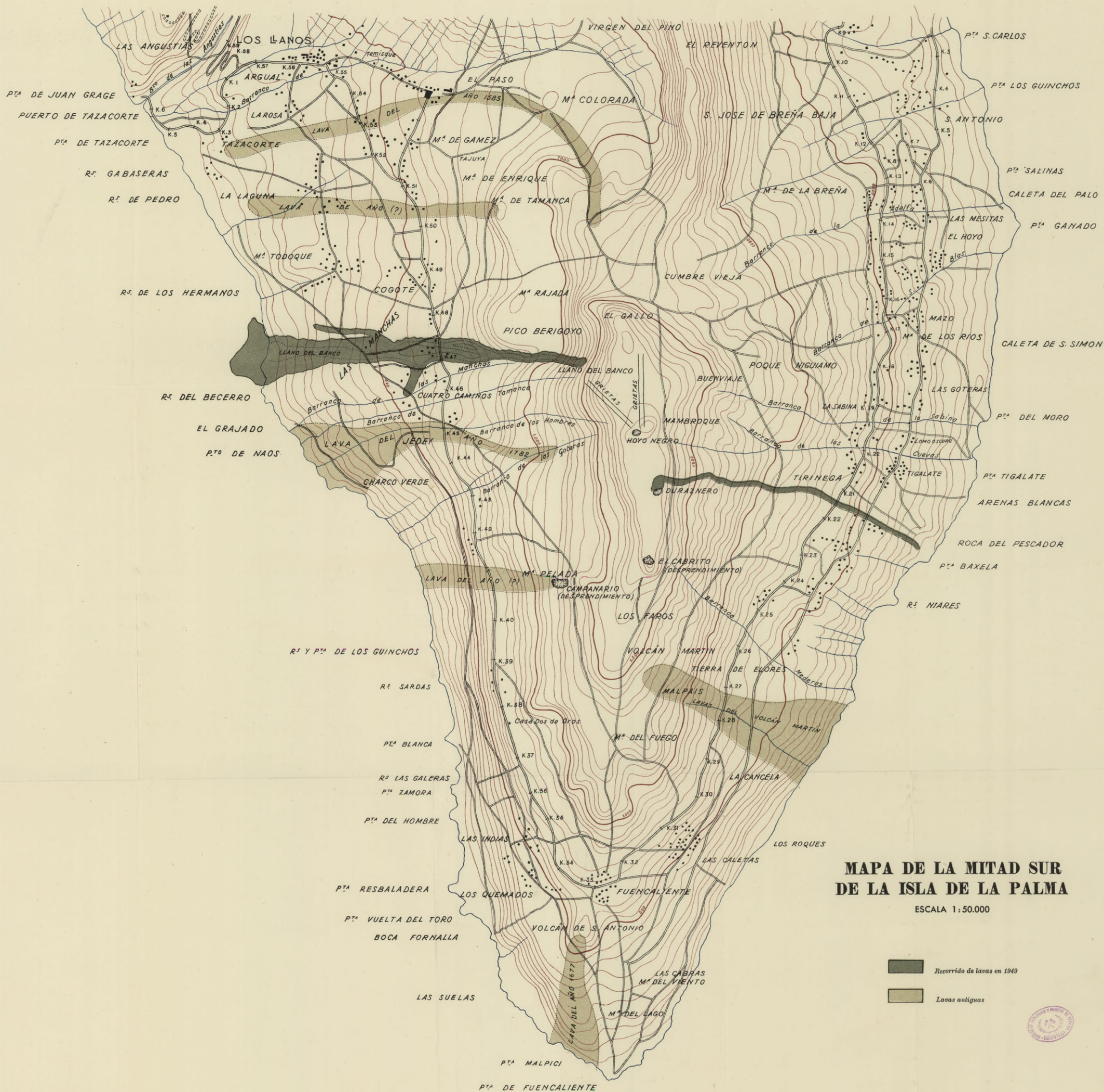
\* \* \*

Es innecesario subrayar que unas notas tomadas, en su mayor parte, durante el período agudo del vulcanismo, no pueden conducir a un informe detenido y completo. El estudio, realmente interesante, se efectúa cuando el volcán

duerme o se extingue. Es entonces, cuando, con medidas más exactas, con análisis más metódicos y apreciaciones más comprobadas, podrán corregirse los errores que la presente Memoria contenga. Por la índole de los fenómenos, creemos merecer una disculpa.

Madrid, febrero de 1950.





## ÍNDICE

	<u>Páginas</u>
I. Bosquejo geológico.....	3
II. Origen del vulcanismo.....	11
III. El vulcanismo histórico.....	19
IV. Diario del volcán.....	25
V. La erupción.....	53
1) El Duraznero o San Juan.....	53
2) La fisura del Llano del Banco.....	62
3) El Hoyo Negro.....	77
4) La fase postvulcánica.....	88
VI. Rasgos de la erupción.....	91
VII. Hipogénesis del volcán.....	99
1) Conceptos generales.....	99
2) Grado geotérmico.....	104
3) Sismos vulcánicos y tectónicos.....	105
4) Grietas y fisuras.....	109
5) Macrosísmica y Geología.....	112
6) Hipótesis tectónica.....	117
7) Consecuencias del reajuste gravitacional.....	121
8) Epicentro o hipocentro.....	124
9) Dirección y buzamiento de las fallas.....	127
10) El foco magmático.....	129
VIII. Estudios de laboratorio.....	133
1) Estudio de la roca obtenida.....	133
2) Estudio de la ceniza o cinerita.....	148
IX. Clasificación y nombre del volcán.....	153
X. Consideraciones finales.....	161

**MICROPALEONTOLOGÍA APLICADA.  
ESTUDIO DEL SONDEO PROFUNDO  
DE OLIANA (PROVINCIA DE LÉRIDA)**

POR

G. COLOM

**MICROPALEONTOLOGÍA APLICADA.  
ESTUDIO DEL SONDEO PROFUNDO DE  
OLIANA (PROVINCIA DE LÉRIDA)**

En el anticlinal desmantelado de Oliana llevóse a cabo, estos pasados años, un sondeo de exploración que alcanzó los 2.300 metros de profundidad. En dicho accidente tectónico existen los estratos más altos del eoceno marino leridano, ricos, a su vez, en fósiles, los cuales indican niveles bartonienses. Los geólogos Sres. Almela y Ríos, dan la siguiente lista de especies procedentes de sus diversos afloramientos (1947):

**NUMMULÍTIDOS:**

*Nummulites striatus* Brug.

» *variolarius* Lmk.

*Operculina alpina* Douv.

*Nummulites contortus* Desh.

» *fabiani* Prev.

» *subfabiani* Douv.

**ORBITOIDES:**

*Discocyclina archiaci* Schl.

» *sella* d'Arch.

*Asterodiscus taramelli* Schl.

*Discocyclus nummulitica* Gumb.  
 » *oliana* Alm.-Ríos.  
*Actinocyclus radians* d'Arch.

## CORALARIOS:

*Circophyllia elliptica* d'Arch.  
*Pertophylliella catulliana* d'Arch.  
 » *pasiniana* d'Arch.  
*Plerastraea tessellata* Mich.  
*Hydnophyllia profunda* Mich.  
 » *micelotti* Haim.  
*Dimorphastraea castroi* Mall.  
*Parasmilia altavillensis* DeFr.  
*Stylocoenia lobato-rotundata* Mich.  
 » *vicaryi* Haim.  
 » *taurinensis* Mich.  
*Pattalophyllia bilobata* Mich.  
 » *sinuosa* Brogn.  
*Orbicella ellisiana* DeFr.  
 » *guettardi* DeFr.  
*Cladocora unilateralis* d'Arch.  
*Cyathoseris apennina* Mich.  
*Cycloseris heberti* Tour.  
*Astrocoenia ornata* Mich.  
*Columnastraea caillaudi* Mich.  
*Dendracis gervillei* Dfr.  
*Stylophora pulcherrima* d'Arch.

## MOLUSCOS:

*Cistella* sp.  
*Turritella imbricataria* Lmk.  
*Trochus* sp.  
*Ostraea* sp.  
*Cerithium* sp.

Sin embargo, no resulta posible conocer la base, o niveles inferiores, de tales depósitos, lo que dificulta, en gran manera, la reconstitución precisa de la serie estratigráfica eocénica en la zona que comprende el citado anticlinal de Oliana. El estudio detallado de la serie sedimentaria, atravesada por la sonda, constituye el motivo principal del presente trabajo, orientado, principalmente, en el sentido de proporcionarnos un conocimiento lo más preciso posible de las condiciones de la sedimentación de los depósitos atravesados, edad de los mismos, juntamente con las peculiaridades y caracteres de las microfauas encontradas. Así pues, el problema que se impone y cuya solución se ha buscado basándose en el estudio de las microfauas obtenidas, ha sido el de intentar resolver la edad, o sucesivas edades, de la potente masa de las margas azules, cuyo espesor, en tal sitio, es superior a los 500 metros visibles.

Los más altos niveles conservados del anticlinal de Oliana, aflorando inmediatamente debajo de los conglomerados oligocenos, aparecen también constituidos por las margas azules. Han sido igualmente investigados desde el punto de vista de sus microfauas para lograr una idea de conjunto de todos ellos; pero el sitio preciso del emplazamiento del sondeo se halla situado en lechos estratigráficamente algo más inferiores a aquéllos (fig. núm. 1). Todos estos niveles, sin embargo, pertenezcan a los que afloran libremente en los estratos más altos o bien correspondan a los más inferiores que han sido atravesados por la sonda, hallanse formados todos por un potente conjunto de margas azuladas, compactas y duras, de naturaleza litológica muy fina y monótona, pues excepción hecha de determinados lechos algo sobrecargados de aportaciones micáceas, las variaciones existentes entre los diferentes bancos



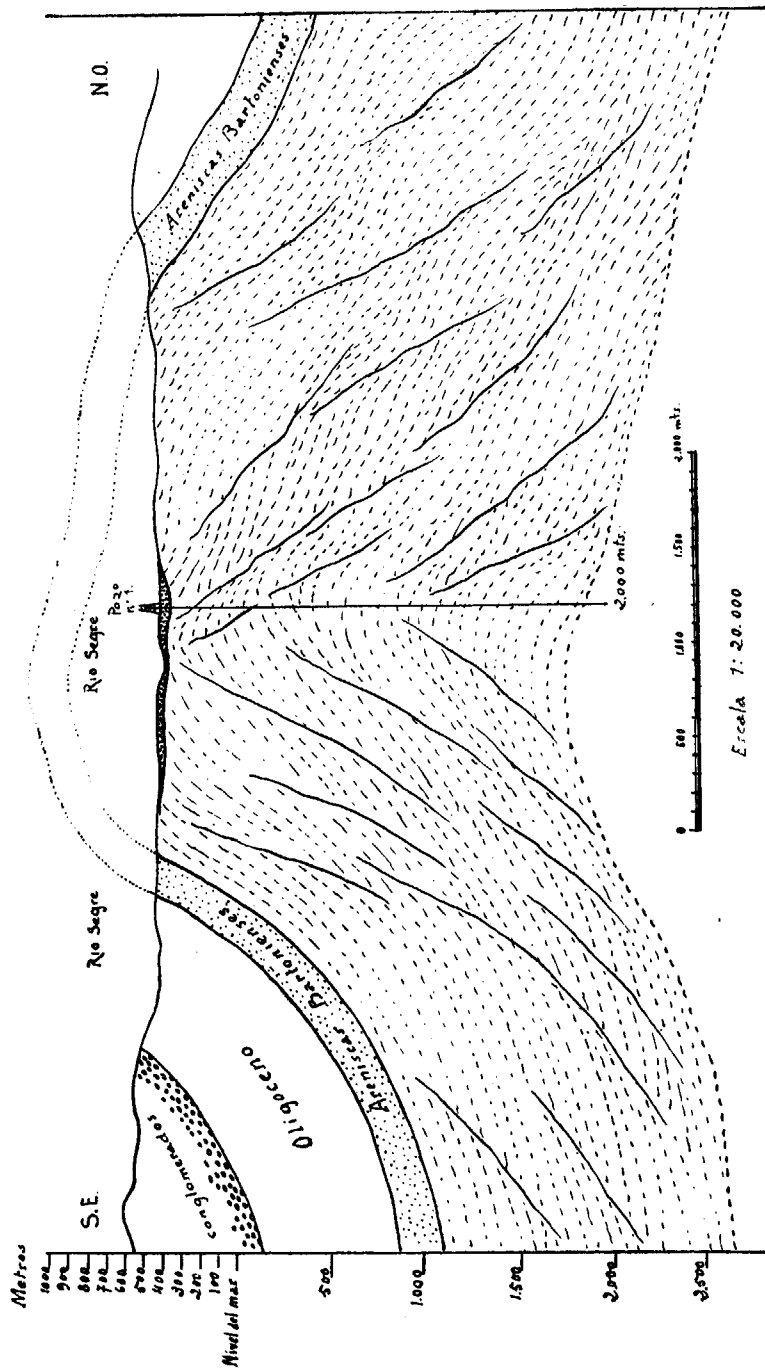


Fig. 1.—Anticlinal de Oliana (prov. de Lérida).

parecen en extremo raras e insensibles dentro de su enorme masa. Una gran cantidad de pirita impregna siempre todos sus estratos, relleno cualquier resto de organismo, así como los caparzones de los pequeños foraminíferos. En diversas ocasiones preséntase la pirita bajo la forma de diminutos nódulos o bien a base de moldes correspondientes a fragmentos de gasterópodos de reducido tamaño.

Los 2.000 metros atravesados por la sonda, siempre dentro de dichos materiales, no revelan variación litológica de importancia. Solamente al final, en uno de los últimos testigos estudiados, aparece un ligero cambio debido a un marcado aumento de las aportaciones detríticas a base de una mayor proporción de granos de cuarzo, dando, entonces, una marga azulada, arenosa, que tiende a apartarse del tipo margoso fino, hasta aquel momento predominante.

Tales son, rápidamente esbozados, los caracteres más esenciales de la serie litológica existente en el anticlinal de Oliana, y en gran parte atravesada por el sondeo objeto de este estudio.

\*\*\*

Los niveles altos, margosos, no atravesados por la sonda, resultan como he apuntado ya, muy ricos en microforaminíferos (lám. I, fig. 2). Sus variadas especies han sido estudiadas en una serie de muestras recolectadas desde los lechos más superiores, situados cerca del oligoceno, hasta unos 700 más abajo, correspondiendo la última muestra al nivel donde se empezó la perforación. En total, nueve muestras escalonadas correspondientes a una columna estratigráfica del espesor señalado. (Ver cuadro

estratigráfico núm. 1, y muestras de los niveles «C», «D», E, «E», «B», «A + 20», «A», A, y muestra núm. 6.)

El nivel «C» contiene escasos foraminíferos. Entre los que han podido ser reconocidos figuran *Eponides cuachitaensis*, How-Wall., *Cibicides granosus* (Reuss), y *C. pseudoungerianus*, Cush., más diversas especies del género *Robulus* que por su deficiente estado de conservación no ha sido posible clasificar específicamente. Los ostrácodos abundan y entre ellos *Cythere* cf. *costellata*, Bosq., especie que encontraremos desde este momento y siempre muy constante, a lo largo de la vertical de los depósitos estudiados.

En conjunto, la mencionada sinecia, representa el preludio de unas poblaciones cada vez más ricas y más difundidas en los estratos inferiores, pero que desde estos instantes se mantendrán siempre muy constantes.

En los demás niveles «D», E, «E», «B», «A + 20», y el núm. 6, pero, sobre todo, en los señalados con los símbolos E, «E», y «A + 20», los pequeños foraminíferos vuelven a ser muy numerosos y su estado de conservación es perfecto. Las especies encontradas son las siguientes, dispuestas en familias:

#### LITUOLIDAE.

*Ammobaculites hockleyensis* Cush.-Appl.

#### TEXTULARIIDAE.

*Textularia recta* Cush.

» cf. *hockleyensis* Cush.-Appl.

» cf. *smithvillensis* Cush.-Ellis.

*Vulvulina pectinata mexicana* Nutt.

*Textularia adalta* Cush.

» cf. *distortio* Cush.-Appl.

*Textularia* cf. *lontensis* Lalick.

*Vulvulina nummulina* (Gümb.).

#### VERNBULLINIDAE.

*Gaudryina quadrilatera* Cush.

#### VALVULINIDAE.

*Plectina eocenica* Cush.

*Clavulina* cf. *triqueta* Reuss.

*Karrerella halkyardi* Cush.

#### LAGENIDAE.

*Fronicularia* sp.

*Lagena raricosta* d'Orb.

*Robulus limbosus* Reuss.

» *inornatus* (d'Orb.)

» *convergens* (Born.)

» *glaucina* Stache.

» *alabamensis* Cush.

» *denticulifera bartoniana* Ruiz-Col.

» *alato-limbatus* (Gümb.).

» *arcuato-striatus* Hantk.

» *articulatus texanus* Cush.

*Marginulina pauciloculata* Hantk.

» *behmi* Reuss.

» *fragaria* Gümb.

» *porvaensis* Hantk.

*Nodosaria* cf. *sceptriformis* Gümb.

*Pseudoglandulina manifesta* (Reuss).

#### POLYMORPHINIDAE.

*Guttulina caudata* d'Orb.

## ELLIPSOIDINIDAE.

*Ellipsonodosaria verneuili* (d'Orb.).

## MILIOLIDAE.

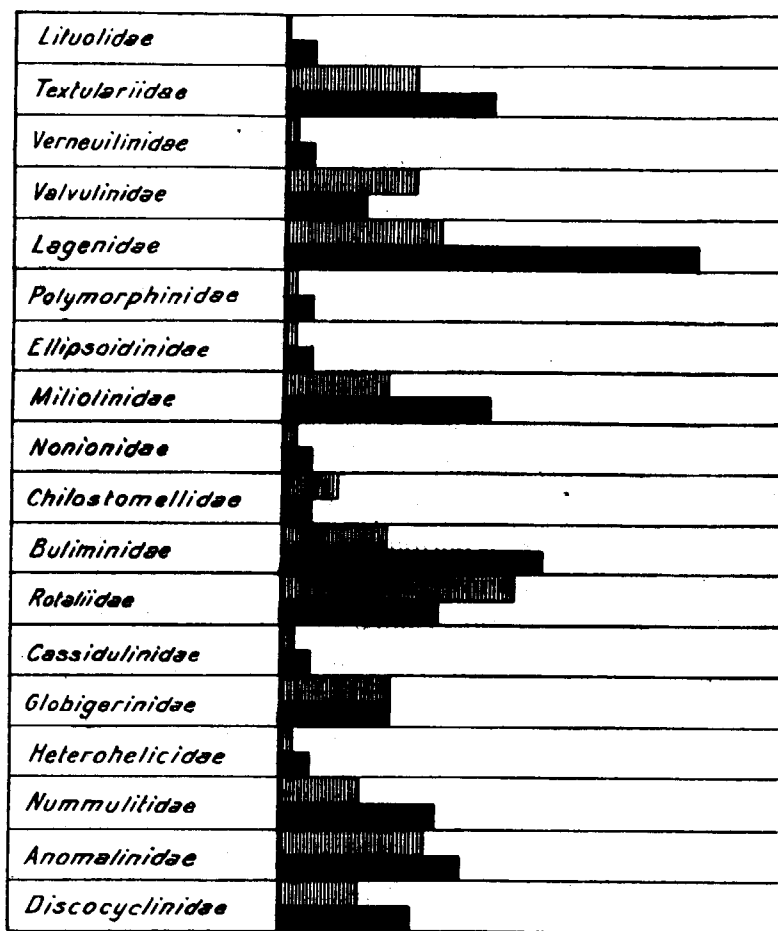
*Miliolinella* cf. *rostrata* (Terq.)

Fig. 2.—Proporción en especies (columna negra) y en individuos (columna rayada) en las diferentes familias de Foraminíferos representados en los niveles altos de Oliana.

*Massilina decorata* Cush.*Triloculina* cf. *philippi* Reuss.*Quinqueloculina ermani trigonostomea* Franz.

## NONIONIDAE.

*Nonion halkyardi* Cush.

## CHILOSTOMELLIDAE.

*Chilostomella cylindroides* Reuss.

## BULIMINIDAE.

*Bolivina novilis* Hantk.» *gracilis* Cush.-Appl.» *striato-carinata* Cush.*Bulimina truncana* Gümb.» cf. *ovata* d'Orb.*Uvigerina curta* Cush.» cf. *topilensis* Cush.

» sp. •

*Virgulina dibollensis* Cush.*Reussella oberburgensis* Freyer.

## ROTALIIDAE.

*Eponides ouachitaensis* How.-Wall.*Gyroidina guayabalensis* Cole.*Cancris auriculus primitivus* Cus.-Todd.*Valvulineria* cf. *jacksonensis* Cush.*Discorbis* cf. *alveata* Cush.

» sp.

## CASSIDULINIDAE.

*Alabamina acutumargo* (Halk.)

## GLOBIGERINIDAE.

*Globigerina venezuelana* Hadb.» *ouachitaensis* How.-Wall.*Globigerina mexicana* Cush.

» sp.

## HETEROHELICIDAE.

*Gumbelina goodwini* Cush.-Jarv.

## NUMMULITIDAE.

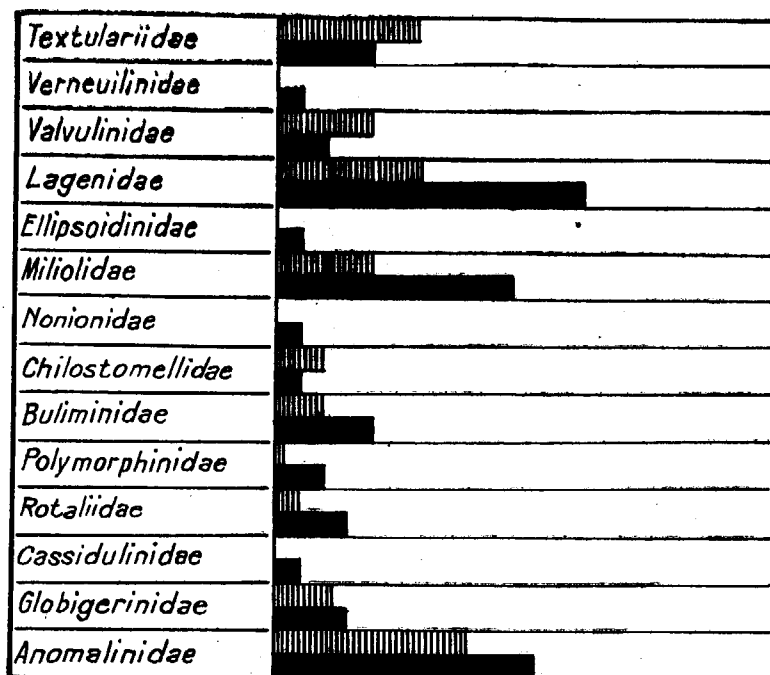
*Operculina alpina* Douv.*Operculinoides ocalanus minor* Bark.

Fig. 3. - Proporción en especies (columna negra) y en individuos (columna rayada) en las diversas familias de Foraminíferos representados en el sondeo de Oliana.

## ANOMALINIDAE.

*Cibicides granosus* (Reuss).» *sassei* Cole.» *perlucidus* Nutt.*Anomalina* cf. *bilateralis* Cush.*Cibicides pseudoungerianus* Cush.» cf. *mauricensis* How.-Rob.» *carrascalensis* Col.*Anomarina* sp.

## DISCOCYCLINIDAE.

*Discocyclina varians* (Kauf.)» *douvillei* Schl.*Discocyclina olianae* Alm.-Ríos.*Asterodiscus stella* (Gümb.)

En el cuadro estratigráfico núm. 1, encontrará el lector la distribución vertical de todas estas especies en los diferentes niveles estudiados.

Ese conjunto proporciona una serie de formas procedentes del eoceno superior de Europa o bien de la América del Norte y América Central; margas azules de Biarritz (Francia), Val di Lonte (Italia), eoceno superior de los Alpes Bávaros (Alemania), «Jackson formation» (U. S. A.), «Clairborne» (U. S. A.), correspondiendo estas dos últimas, respectivamente, al eoceno superior y al auversienense. Así como otras formas esparcidas en el eoceno superior del área antillana. Las especies más interesantes, desde el punto de vista estratigráfico, son las siguientes:

*Eponides ouachitaensis* How-Wall., «Louisiana Dept. Geol.

Bull. U. S. A.», n. 2, 1932, p. 69, lám. 13, fig. 8.

Forma muy próxima a *E. jacksonensis* Cush.,

frecuente en el eoceno superior de la América del Norte.

*Ammobaculites hockleyensis* Cush.-Appl., «Bull. Amer. Assoc. Petr. Geol.», Vol. 10, 1926, p. 163, lámina 6, figura 2.

Los tipos de esta especie provienen del estado de Texas, Tyler County, de varios pozos que atravesaron el eoceno superior.

*Textularia recta* Cush., «U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.», 133, 1923, p. 17, lám. I, fig. 2.—Colom, «Estudios Geológicos», n. 2, 1946, p. 56, lám. 4, figs. 87-89.

Los ejemplares estudiados parecen también muy próximos a *T. eocenica* Gümbel, del eoceno superior de Baviera. En la América del Norte, esta forma es frecuente en la serie del grupo «Vicksburg» (= ludienense), y en la de «Jackson».

*Textularia adalta* Cush., «Contr. Cush. Lab. Foram. Res.», Vol. 2, 1926, p. 29, lám. 4, fig. 2.

No es nunca frecuente en los niveles de los cuales se menciona, pero los ejemplares son bien típicos. *T. adalta* abunda más en los yacimientos catalanes del eoceno superior, de facies caliza. Los tipos de Cushman provienen de la «Jackson formation».

*Karrerella halkyardi* Cush., «Contr. Cush. Lab. Foram. Res.», Spec. Publ. n. 6, 1936, p. 36, lám. 5, fig. 19.—Colom, «Estudios Geológicos», n. 2, 1946, p. 59.

Esta especie fué descrita por Cushman sobre ejemplares procedentes de las margas azules de Biarritz, hallándose igualmente en el eoceno de Cassino y en el bartoniense de Val di Lonte (Italia). Es comunísima en determinados estratos.

*Uvigerina curta* Cush., «Contr. Cush. Lab. Foram. Res.», Vol. 5, 1929, p. 13, lám. 3, figs. 13-15.—Colom, «Es-

tudios Geológicos», n. 2, 1946, p. 72, lám. 5, figuras 116-120.

Los tipos de esta diminuta especie provienen del eoceno de la isla de la Trinidad (Antillas), y se halla bastante difundida en el bartoniense de Navarra.

*Valvulineria cf. jacksonensis* Cush., «Contr. Cush. Lab. Foram. Res.», Vol. 9, 1933, p. 18, lám. 2, fig. 9.

Ejemplares bastante defectuosos parecen, sin embargo, semejantes a esta especie de Cushman, cuyos tipos son del eoceno superior.

*Globigerina venezuelana* Hadberg, «Jour. Paleont.», Vol. 11, 1937, p. 681, lám. 92, fig. 7.

*Globigerina mexicana* Cushman, «Contr. Cush. Lab. Foram. Res.», Vol. 1, 1925, p. 6, lám. 1, fig. 8.

*Globigerina ouachitaensis* Howe y Wallace, «Louisiana Dept. Cons. Geol. Bull.», n. 2, 1932, p. 53, lám. 10, fig. 7.

Estas tres especies son frecuentes en el eoceno superior de la región antillana, aunque, una de ellas, la *G. venezuelana*, persiste todavía hasta niveles más superiores oligocenos.

*Operculinoides ocalanus minor* Barker, «U. S. Nat. Mus. Proc.», Washington, 1939, Vol. 86, p. 317, lám. 12, fig. 4; lám. 15, figs. 1-2.

Esta pequeña especie abunda en el nivel «E», aunque representada en él por ejemplares incompletos. Los tipos provienen de la serie de «Clairborne», U. S. A., es decir, del luteciense superior-auversienense.

*Alabama acutimargo* (Halk.), «Manchester Mem.», Volumen LXII (n. 6), 1919, p. 120, lám. 7, fig. 4.

Esta especie fué descrita por Halkyard bajo el nombre genérico de *Pulvinulinella*, procedente de las margas azules de Biarritz. Es frecuente en la serie aquí estudiada.

*Gaudryina quadrilatera* Cush., «Contr. Cush. Lab. Foram. Res.», Spec. Publ. n. 6, p. 7, lám. 1, fig. 14.—Colom, «Estudios Geológicos», n. 2, 1946, p. 57, lámina 6, figs. 155-159.

Los tipos de Cushman provienen del eoceno superior de Val di Lonte (Italia). Es una forma abundantísima en las margas azules bartonienses de Navarra, siendo escasa, en cambio, en todas las muestras ahora estudiadas.

*Plectina eocenica* Cush., «Contr. Cush. Lab. Foram. Res.», Spec. Publ. n. 6, 1936, p. 32, lám. 5, fig. 5.—Colom, «Estud. Geológicos», n. 2, 1946, p. 58, lám. 2, figs. 37-44; lám. 4, figs. 82-86.

Se encuentra en el eoceno de Biarritz (Francia), Val di Lonte (Italia), Hammer (Baviera), y en otras localidades correspondientes a niveles altos del eoceno europeo.

*Plectina dalmatina* (Schubert), parece una forma muy próxima a ésta de Cushman. Este autor dice que la especie de Schubert está representada en la descripción original por un dibujo convencional, muy esquematizado, dando una idea incompleta de la especie. Puede que ambas resulten una misma cosa, pues se hallan las dos en los mismos niveles del eoceno superior.

*Nonion halkyardi* Cush., «Contr. Cush. Lab. Foram. Res.», Vol. 12, 1936, p. 63, lám. 12, fig. 1.

Forma del grupo de *Nonion pompilioides*. Los tipos de Cushman provienen de las margas azules, bartonienses, de Biarritz (Francia).

*Virgulina dibollensis* Cush.-Appl., «Bull. Amer. Assoc. Petr. Geol.», Vol. 10, 1926, p. 168, lám. 7, fig. 7.—Colom, «Est. Geol.», n. 2, 1946, p. 71, lám. 5, figs. 105-106.

Esta especie es conocida en el eoceno superior de la América del Norte y ya citada en las margas de esta misma edad de Navarra.

*Gyroldina guayabalensis* Cole, «Bull. Amer. Paleont.», Vol. 4, 1927, p. 28, lám. 2, figs. 24-26.—Colom, «Estudios Geológicos», n. 2, 1946, p. 73.

Los tipos de Cole, provienen de la serie superior de «Clairborne», U. S. A., correspondiente a niveles auversiensens. *G. guayabalensis*, es comunísima en casi todas las muestras estudiadas.

*Cancris auriculus primitivus* Cush.-Todd., «Contr. Cush. Lab. Foram. Res.», Vol. 18, 1942, p. 77, lám. 19, figs. 1-2.

Forma rara en todas las muestras. Coincide con esta variedad de *C. auriculus*, cuyos tipos proceden de niveles oligocenos de Alemania.

*Gümbelina goodwini* Cush.-Jarv., «Contr. Cush. Lab. Foram. Res.», Vol. 9, 1933, p. 69, lám. 7, figs. 15-16.

Es una especie del eoceno superior de la región Antillana y América central. Frecuente en algún nivel de Oliana.

*Cibicides perlucidus* Nutt., «Journ. Paleont.», Vol. 6, 1932, p. 33, lám. 8, figs. 10-12.

Especie muy difundida en la América central, sobre todo en los lechos de «Alazán» (Méjico), correspondientes al oligoceno inferior y en los del grupo «Vicksburg» (bartoniense-ludiense).

*Bolivina striato-carinata* Cush., «Contr. Cush. Lab. Foram. Res.», Spec. Publ. n. 9, 1937, p. 54, lám. 7, fig. 16.

Es una forma procedente del eoceno superior de Val di Lonte (Italia), de fuerte talla y amplia quilla marginal. Ha sido encontrada igualmente en el bartoniense navarro.

*Bolivina gracilis* Cush.-Appl., «Bull. Amer. Assoc. Petr. Geol.», Vol. 10, 1926, p. 167, lám. 7, figs. 1-2.

Especie americana hasta el presente. Howe y Wallace la citan de los lechos de la «Jackson formation».

Los tipos son del eoceno superior de Texas, U. S. A. *Anomalina bilateralis* Cush., «U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.», 129-E, 1922, p. 97, lám. 21, figs. 1-2.

Los tipos de Cushman provienen de la «Jackson formation». No es nunca frecuente y, en general, mal conservada.

*Massilina decorata* Cush., «U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.», 129-E, 1923, p. 143, lám. 34, fig. 7.

Es, más bien, una especie, hasta ahora, del oligoceno inferior y del eoceno superior, presentándose en gran cantidad en la parte superior de la «Jackson formation».

*Quinqueloculina alabamensis* Cush., «Contr. Cush. Lab. Foram. Res.», Vol. 20, 1944, p. 30, lám. 5, fig. 4.

Los tipos de Cushman provienen del paleoceno más superior de la formación «Naheola».

*Cibicides pseudoungerianus* Cush., «U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.», 129-E, 1922, lám. 20, fig. 9.

Esta especie proviene del oligoceno de la América del Norte. Pero se ha observado últimamente que tiene una dispersión vertical muy amplia. Mme. Guibler la menciona en el eoceno inferior (?) de la vertiente francesa de los Pirineos, pero esta cita necesitaría confirmación. Es comunísima a través de todas las muestras estudiadas y uno de los foraminíferos más típicos de estos niveles.

*Cibicides howelli* Toulmin («Journ. Paleont.», Volumen 15, 1941, p. 609, lám. 82, figs. 16-18), también del eoceno, es una especie íntimamente relacionada

con *pseudoungerianus*, y de la cual resulta, muchas veces, difícil de separar si ambas formas no se encuentran con ejemplares bien conservados. *C. howelli*, es más marcadamente plano-convexo.

Otras especies que menciono seguidamente, son conocidas desde hace tiempo de los lechos eocénicos de Europa, señalándolas los autores, unas veces, en el eoceno superior y, otras, en niveles del luteciense, como

*Vulvulina nummulina* (Gümb.), «Abhandl. Bay. Akad. Wiss. München.», Kl. II, Vol. 10, 1870, p. 648, lám. 2, fig. 84 a-b.

*V. nummulina* (Gümb.) y *V. haeringensis* (Gümb.) («K. Bayer Akad. Wiss. München», K. II, Vol. 10, 1870, p. 649, lám. 2, fig. 84 bis a-b), son dos formas muy próximas y enlazadas por grados insensibles cuando se estudian series muy completas de las mismas, procedentes de los mismos niveles. Para bastantes autores son sinónimas, criterio adoptado en el presente trabajo. Ambas aparecen en los mismos lechos, y sabido es el gran polimorfismo de las especies de este género entre las formas esquizontes y gamontes. En cambio, no cabe duda alguna respecto a su distribución vertical dentro de la serie eocénica, que se hallan ya en los niveles lutecienses.

*Clavulina* cf. *triquetra* (Reuss), «Denkschz. K. Akad. Wiss. Wien.», Vol. 23, 1864, p. 6, lám. 1, fig. 1.

Forma muy rara. Parece ser una especie oligocena.

*Robulus arcuato-striatus* (Hantk.), «Magy. Foldt. Tass. Munk. Pest.», Vol. 4, 1868, p. 93, lám. 2, fig. 30.

Los tipos de Hantken provienen de los lechos oligocenos, pero abunda en los del eoceno superior.

*Marginulina pauciloculata* Hantk., «K. Ungar. Geol. Anst. Mitt. Jahrb. Budapest», Vol. 4, 1875, p. 47, lám. 14, fig. 10.

Especie rara. En el eoceno superior y oligoceno.

*Marginulina behmi* Reuss, «Denkschz. K. Akad. Wiss. Wien.», Vol. 25, 1865, p. 138, lám. 2, fig. 37.

Especie muy difundida en el eoceno superior. Cu-  
villier y Szakall la citan del eoceno superior de Aquitania.

*Marginulina fragaria* Gümb., «K. Bayer Akad. Wiss. München», Kl. II, vol. 10, 1868, p. 635, lám. 1, fig. 58.

Ejemplares pequeños, no bien desarrollados, coinciden, no obstante, con esta especie de Gümbel del eoceno de Alemania.

*Marginulina porvaensis* Hantk., «K. Ungar. Geol. Anst., Mitt. Jahrb. Budapest», Vol. 4, 1875, p. 50, lám. 14, fig. 1.

Rara en todas las muestras; esta especie de Hantken abunda en el eoceno superior y oligoceno inferior.

*Marginulina indiferens* Hantk., «K. Ungar. Geol. Anst., Mitt. Jahrb. Budapest», 1875, Vol. 4, p. 47, lám. 4, fig. 14.

Especie frecuente en los lechos con *Clavulina Szaboi*, de Hungría.

*Nodosaria sceptriformis* Gümb., «Abh. K. Bayer Akad. Wiss.», Kl. II, vol. 10, 1868, p. 620, lám. 1, fig. 33.

Es una forma del eoceno.

*Miliolinella* cf. *centrata* (Terq.), «Mem. Soc. Géol. France», Ser. 3, 1882, p. 177, lám. 19, figs. 3-5.

La forma de Oliana y también de las margas azules de Navarra, está estrechamente relacionada con esta especie de Terquem. Sin embargo, en bastantes

casos, debido al mal estado de conservación de sus caparazones, no es posible llevar a cabo una determinación precisa. Los tipos de Terquem provienen de los lechos eocenos.

*Triloculina philippi* Reuss, «K. Akad. Wiss. Wien.», Kl. II, vol. 18, 1856, p. 252, lám. 9, fig. 8.

Los tipos de Reuss provienen de los lechos oligocenos.

*Bolivina nobilis* Hantk., «Mitth. Jahrb. K. Ungar. Geol. Anst.», Vol. 4, 1875, p. 65, lám. 15, fig. 4.

Los tipos de Hantken son del eoceno superior de la región de Budapest. Cushman dice que esta especie parece limitada, hasta ahora, en el eoceno superior del sur de Europa.

*Bolivina reticulata* Hantk., «Mitth. Jahrb. K. Ungar. Geol. Anst.», Vol. 4, 1875, p. 65, lám. 15, fig. 6.

Esta diminuta especie hállase muy difundida en el eoceno superior de la Europa central, lo mismo que en los niveles altos de las margas azules de Biarritz. Los tipos de Hantken provienen del eoceno superior «Kleinzellner Tegel», cerca de Budapest.

*Bulimina truncana* Gümb., «Abh. K. Bayer Akad. Wiss.», Vol. 10, 1868, p. 644, lám. 2, fig. 77.

Los tipos de Gümbel proceden del eoceno de Hammer, Baviera. Es una especie frecuente en los lechos con *Clavulina szaboi*, cerca de Budapest y en el eoceno de Biarritz. Ha sido también citada en el bartoniense de Navarra.

*Reussella oberburgensis* Freyer, «K. A. Wiss., Denkschr., Math.-Nat. Kl.», Wien, Vol. 23, 1964, p. 6, lám. 1, fig. 2.

Es una forma del eoceno de Alemania, y rara siempre en los lechos estudiados.



*Cibicides granosus* (Reuss), «Deutsch. Geol. Gess. Zeitschr. Berlin», Vol. 3, 1851, p. 75, lám. 5, fig. 36.

Es una especie bastante difundida en el eoceno medio y superior, en Europa.

*Cibicides carrascalensis* Col., «Estudios Geológicos», n. 2, 1946, p. 78, lám. 3, figs. 46-52.

Esta especie, descrita en 1946, es frecuente en las margas bartonienses de Navarra y en algunos lechos de Oliana.

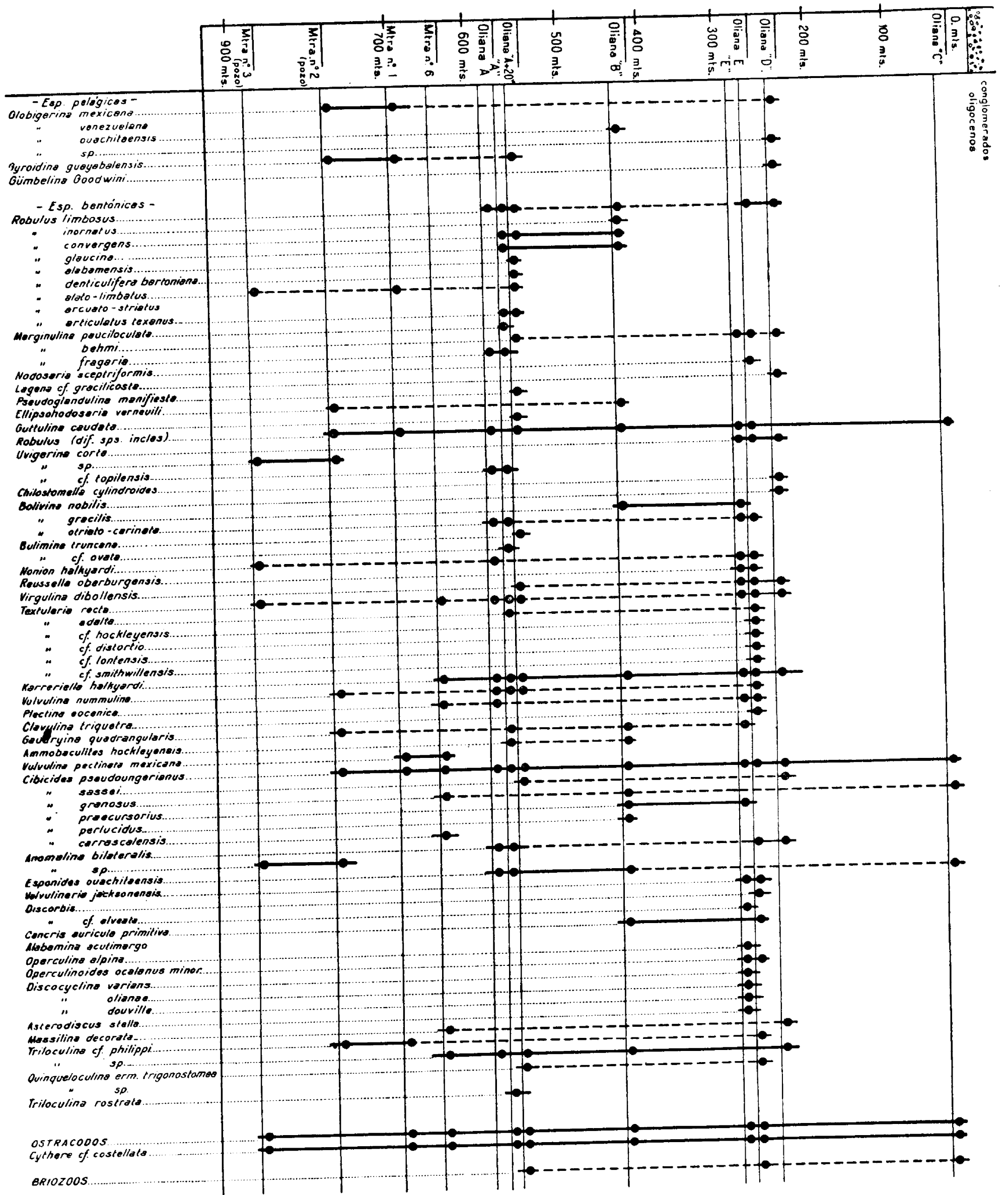
Pero la mayor parte de estas formas descritas por autores europeos del pasado siglo, tienen un significado estratigráfico alto dentro del eoceno, sin que ello venga a implicar que su verdadera aparición no pueda coincidir con niveles más bajos, por ejemplo, lutecienses. Sin embargo, la proporción de formas típicamente bartonienses parece predominar en ese conjunto, dato que coincide con los hallazgos efectuados en Oliana, en los lechos más superiores asequibles a la investigación, de la presencia en ellos del grupo de *Nummulites* como *N. striatus* Brug., y la pareja *N. fabiani-subfabiani*, típicos de los niveles superiores de los depósitos eocenos.

Por tal motivo, considero a los estratos altos y erosionados del anticlinal de Oliana como pertenecientes al eoceno superior. Conclusión que nada nuevo trae, pues viene a confirmar tan sólo otras opiniones emitidas anteriormente sobre esta misma cuestión.

En cuanto a la composición y significado ecológico de esta sinecia, con sus 18 familias de foraminíferos, representadas por 69 especies, vemos que los Nummulítidos, Discociclínidos, son frecuentes, aunque localizados en los estratos más altos correspondientes a los niveles «D», E, y «E». (Ver cuadro estratigráfico núm. 1 y fig. 2.)

	Mira n.º 3 900 mts.	Mira n.º 2 800 mts.	Mira n.º 1 700 mts.	Mira n.º 6	Oliana A 600 mts.	Oliana K+D 500 mts.	Oliana B	400 mts.	Oliana E 300 mts.	Oliana D	200 mts.	100 mts.
<b>- Esp. pelágicas -</b>												
<i>Olabigerina mexicana</i>												
" <i>venezuelana</i>												
" <i>ouachitanaensis</i>												
" sp.												
<i>Hyaridine guayabalensis</i>												
<i>Gumbelina Goodwini</i>												
<b>- Esp. bentónicas -</b>												
<i>Robulus limbosus</i>												
" <i>inornatus</i>												
" <i>convergens</i>												
" <i>graciosa</i>												
" <i>olebemensis</i>												
" <i>denticulifera bartoniensis</i>												
" <i>stato-limbatus</i>												
" <i>arcuato-striatus</i>												
" <i>articulatus texanus</i>												
<i>Marginulina pseudoculata</i>												
" <i>behmi</i>												
" <i>frageria</i>												
<i>Nodosaria acquiriformis</i>												
<i>Legena cf. gracilicosta</i>												
<i>Pseudoglandulina manjistei</i>												
<i>Ellipsanodosaria verneuili</i>												
<i>Outulina caudata</i>												
<i>Robulus (ajf. sp. incles)</i>												
<i>Uvigerina corte</i>												
" sp.												
" <i>topilensis</i>												
<i>Chistolamella cylindroides</i>												
<i>Bolivina nabilis</i>												
" <i>gracilis</i>												
" <i>atriato-carinata</i>												
<i>Bulimina truncana</i>												
" <i>cf. ovata</i>												
<i>Nonion halkyardi</i>												
<i>Reussella oberburgensis</i>												
<i>Virgulina dibollensis</i>												
<i>Textularia recta</i>												
" <i>adelta</i>												
" <i>cf. hockleyensis</i>												
" <i>cf. distorta</i>												
" <i>cf. lantensis</i>												
" <i>cf. smithwellensis</i>												
<i>Karreriella halkyardi</i>												
<i>Vulvulina nummulina</i>												
<i>Plectina eocena</i>												
<i>Clevyline trigueta</i>												
<i>Gaulterina quadrangularis</i>												
<i>Ammobaculites hockleyensis</i>												
<i>Vulvulina pectinata mexicana</i>												
<i>Cibicides pseudoungerianus</i>												
" <i>sasaei</i>												
" <i>granosus</i>												
" <i>praecursorius</i>												
" <i>perluoides</i>												
" <i>carrascalensis</i>												
<i>Anomalina bilateralis</i>												
" sp.												
<i>Eponides ouachitanaensis</i>												
<i>Velutinaria jacksonensis</i>												
<i>Discorbis</i>												
" <i>cf. elveae</i>												
<i>Concis auricula primitiva</i>												
<i>Alabamina acutimargo</i>												
<i>Operculina alpina</i>												
<i>Operculinoides ocalenus minor</i>												
<i>Discocyclina varians</i>												
" <i>oliana</i>												
" <i>duville</i>												
<i>Asterodiscus stelleri</i>												
<i>Mastellina decorata</i>												
<i>Triloculina cf. philippi</i>												
" sp.												
<i>Quinqueloculina arm. trigonostoma</i>												
" sp.												
<i>Triloculina rostrata</i>												
<b>OSTRACODOS</b>												
<i>Cythere cf. costellata</i>												
<b>BRIOZOOS</b>												

Cuadro estratigráfico núm. I de los niveles altos del anticlinal de Oliana (bartoniens)



Cuadro estratigráfico núm. I de los niveles altos del anticlinal de Oliana (bartoniense).





Textuláridos, Valvulínidos, Lagénidos, Miliólidos, Bulimínidos, Rotálidos y Anomalínidos pululan, dando especies abundantes en todos los mencionados estratos, como *Vulvulina nummulina*, *Textularia recta*, *Plectina eocenica*, *Karrieriella halkyardi*, *Quinqueloculina ermani trigonostomea*, *Virgulina dibollensis*, *Operculinoides ocalanus minor*, *Cibicides pseudoungerianus*, etcétera.

Por la presencia de Nummulitidos, Miliólidos, Rotálidos y Anomalínidos, de manera constante y frecuente a veces, según los lechos, la profundidad de tales depósitos parece que no fué mucha, a pesar de la riqueza en especies de Lagénidos y Bulimínidos, formas representativas, estas últimas, de aguas más bien profundas cuando abundan, no tan sólo en diversidad de especies, como es el caso para los depósitos que estudio, sino también en individuos, detalle que no se presenta en los lechos altos de Oliana. La presencia de Lagénidos y Bulimínidos, a base de un conjunto variado, no tiende a indicar lechos profundos. En nuestro caso, sus representantes vienen a completar el de otros grupos o familias, proporcionando una representación variada al conjunto de la sinecia, más bien propia de una zona nerítica que alcanzaba una profundidad relativa, pero en ningún caso batial. La abundancia de corales viene igualmente a corroborar tales suposiciones.

Las especies planctónicas no abundan en estos niveles. *Globigerina mexicana*, *G. venezolana* y *G. ouachitaensis*, no llegan a constituir nunca sedimentos globigerínicos. Otras dos especies, de vida pelágica menos constante, como *Gyroidina guayabalensis* y *Gümbelina goodwini*, son mucho más comunes en todas las muestras, siendo *G. guayabalensis* la especie más ampliamente repartida a través de la serie de niveles estudiados. No obstante, el grupo de formas planctónicas persiste con mayor intensi-

dad en los estratos altos de Oliana, que no en los niveles inferiores, y escaseando, cada vez más, en las muestras correspondientes al sondeo.

Ese detalle tiende a demostrar que la profundidad fué mayor, aunque siempre relativa, en los estratos altos de la serie de Oliana.

### Estudio de las muestras del sondeo

Se han examinado 46 muestras o testigos obtenidos por la sonda y escalonados desde los 100 metros primeros (testigo núm. 1), hasta el último, obtenido de los lechos que confinaban con los 2.000 metros de profundidad (testigo núm. 46).

Todos los testigos, del núm. 1 al núm. 46, además de haber proporcionado materiales aptos para lavajes y obtención de microforaminíferos, han sido estudiados a base de secciones delgadas con el fin de comprobar las posibles alteraciones litológicas de la masa margosa atravesada. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Todas las preparaciones muestran una absoluta uniformidad. El cemento margoso es fino, compacto, formado por una calcita granulosa llena de impurezas piritosas, pajuelas de mica más o menos frecuentes según los niveles y una masa finísima, en gran parte fuertemente alterada, en la que se observan, según los bancos, restos de *Coccolitoforíneas* (algas unicelulares, planctónicas) y *Discoasterídeos*, además de diminutos romboedros de calcita de 10 a 20 micras, porciones de cámaras centrales destrozadas de foraminíferos, seguido, todo ello, de una gran impregnación de pirita en forma muy difusa o a base de diminutos granillos o bien de cristales, cuya forma, en estos últimos,

se conserva perfectamente en determinados casos (lámina IV, fig. 1). Sería inútil intentar repetir esta descripción siguiendo los diversos niveles, pues no daría más que una renovación continua de las mismas estructuras.

En algunas preparaciones se observan diminutos granillos de cuarzo aislados, pero siempre resultan escasos. Su tamaño suele fluctuar, entonces, alrededor de las 20 a 50 micras.

Las secciones delgadas no revelan gran abundancia de organismos a través de estos depósitos, demostrándonos en los casos afirmativos, pertenezcan a los foraminíferos o a otros grupos, que no pulularon nunca en gran número, sino que más bien resultaban escasos a lo largo de la columna estratigráfica margosa, siempre impregnada de sulfuros de hierro. Tan sólo el lavaje y la consiguiente concentración de los residuos obtenidos proporciona una cantidad suficiente de caparazones pertenecientes a pequeños foraminíferos que, en general, podríamos llamar, más bien, pobre.

Según las secciones delgadas encuéntrase cortes de diminutas *Globigerinas*, posiblemente atribuibles a *G. ouachitaensis* (lám. II, figs. 3-6), juntamente con otras de la pequeña *Gümbelina goodwini* (lám. I, fig. 1), algún que otro «textulárido» difícilmente clasificable (lám. II, fig. 7), restos de *Cibicides pseudoungerianus* (lám. II, fig. 2), especie que por su extrema abundancia en casi todos los niveles proporciona un mayor número de caparazones en los cortes margosos, restos de *Uvigerinas* (lám. II, fig. 1), y también de *Nodogenerinas* (lám. II, fig. 8). Pero ninguno de los niveles examinados a base del estudio de las secciones delgadas de rocas puede llamarse verdaderamente rico en foraminíferos o en seres de otros grupos.

Como organismos de naturaleza muy diferente a la de

los foraminíferos, han aparecido muy difundidos en esta masa margosa fragmentos y restos en todas las preparaciones, atribuibles a algún grupo de algas filamentosas.

La conservación de tan frágiles y diminutos restos es debida siempre a la pirita, fosilizando todas sus partes, de las cuales no nos ha quedado, actualmente, más que un simple molde, el cual nos proporciona tan sólo una silueta de difícil interpretación. En la mayoría de los casos, estos moldes se reducen a sencillas esferas, ampliamente difundidas en muchas preparaciones, mezcladas, a su vez, con otros elementos piritosos (lám. IV, fig. 2). Pero, en otros, se observa todavía que tales restos se hallan agrupados, revelando, en su conjunto, una estructura orgánica manifiesta y no mineral, como podría suponerse a base de un rápido examen. (Lám. III.)

En unos pocos casos he podido encontrar fragmentos mejor conservados, en los cuales aparece aún una vaina, o partes de las mismas, de naturaleza caliza (calcita muy pura, transparente), unidas y repletas de una masa piritosa (lám. III, figs. 1-2). En una de sus extremidades abiertas obsérvase cómo la pirita va resolviéndose en un conjunto de esferas, en gran parte del mismo diámetro.

El organismo parece formado por un conjunto de células aisladas de unas 5 a 7 micras de diámetro en la periferia, y más anchas en las que corresponden al centro del eje, el cual posee un diámetro aproximado de unas 75-200 micras, ofreciendo escasas ramificaciones, en ángulo agudo, poco divergentes. (Lám. III, figs. 1-3.)

Según el distinguido algólogo Dr. Margalef, de Barcelona, que ha tenido la bondad de examinar algunas de las preparaciones del sondeo, es posible que se trate de un grupo de Feofíceas ectocarpiales, próximos a los géneros actuales *Dictyosiphon* o *Litosiphon*. De ser exacta seme-

jante interpretación, se trataría de algas litorales, epilíticas o epifitas. Su presencia viene, entonces, a confirmar la escasez de profundidad y su aproximación a una costa para tales sedimentos.

En otros casos, masas esferoidales, muy semejantes a las anteriores, se encuentran libres en el cemento de la roca, pero unidos todavía entre sí sus diversos componentes. (Lám. III, fig. 4.)

Resulta sumamente difícil lograr más precisión en cuanto a la taxonomía se refiere, respecto a estos indicios de algas Feofíceas en los depósitos margosos de Oliana, a pesar de su indudable origen orgánico. No obstante, tal interpretación parece imponerse claramente cuando se observan sus diversos fragmentos, sobre todo en los casos en los cuales los ejemplares están mejor conservados. (Lám. III, figs. 1-2.)

Ningún otro resto orgánico viene a romper la uniformidad de la composición de la potente serie margosa atravesada por la sonda, dándonos una noción de la monótona constancia de la sedimentación marina sobre la antigua cuenca de recepción del actual anticlinal de Oliana.

En cuanto a los microforaminíferos procedentes de los diversos testigos estudiados, la lista completa de los mismos es la siguiente:

TEXTULARIIDAE.

*Textularia recta* Cush.

» sp.

*Vulvulina nummulina* (Gümb.).

» *pectinata mexicana* Nutt.

VERNEULINIDAE.

*Gaudryina quadrilatera* Cush.

## VALVULINIDAE.

- Plectina eocenica* Cush.  
*Karrerella halkyardi* Cush.

## LAGENIDAE.

- Robulus alato-limbatus* (Gümb.).  
*Saracenaria arcuata* d'Orb.  
*Robulus limbosus* (Reuss).  
 » *foliatus* (Stäche).  
 » *glaucina* (Stäche).  
 » *alabamensis* Cush.  
 » sp.  
*Nodosaria* cf. *affinis* d'Orb.  
 » sp.  
*Marginulina behmi* Reuss.  
 » *porvaensis* Hantk.  
 » *fragaria* Gümb.  
 » *pauciloculata* Hantk.  
 » *indiferens* Hantk.  
 » sp.

*Pseudoglandulina abbreviata* (Neug).

## ELLIPSOIDINIDAE.

*Ellipsonodosaria verneuili* (d'Orb).

## MILIOLIDAE.

- Quinqueloculina ermani trigonostomea* Franz.  
*Spiroloculina* cf. *jarvisi* Cush.  
 » cf. *morloti* Reuss.  
 » *bidentata* Hadl.  
*Triloculina* cf. *philippi* Reuss.  
*Miliolinella* cf. *centrata* (Terq.).  
*Massilina decorata* Cush.

*Triloculina rostrata* d'Orb.

» *alabamensis* Cush.

## MONIONIDAE.

*Nonion halkyardi* Cush.

## CHILOSTOMELLIDAE.

*Chilostomella cylindroides* Reuss.

## BULIMINIDAE.

- Bolivina nobilis* Hantk.,  
 » *reticulata* Hantk.  
*Virgulina dibollensis* Cush.  
*Uvigerina* sp.

## POLYMORPHINIDAE.

- Ramulina kittli* Rze.  
*Guttulina* sp.

## ROTALIIDAE.

- Eponides* sp.  
*Gyroidina guayabalensis* Cole.  
*Valvulineria* cf. *jacksonensis* Cush.

## CASSIDULINIDAE.

*Alabamina acutimargo* (Halk).

## GLOBIGERINIDAE.

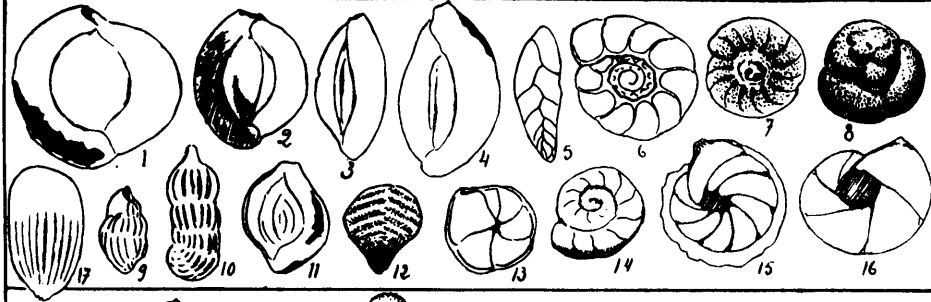
- Globigerina venezuelana* Hadb.  
 » sp.  
 » *mexicana* Cush.

## ANOMALINIDAE.

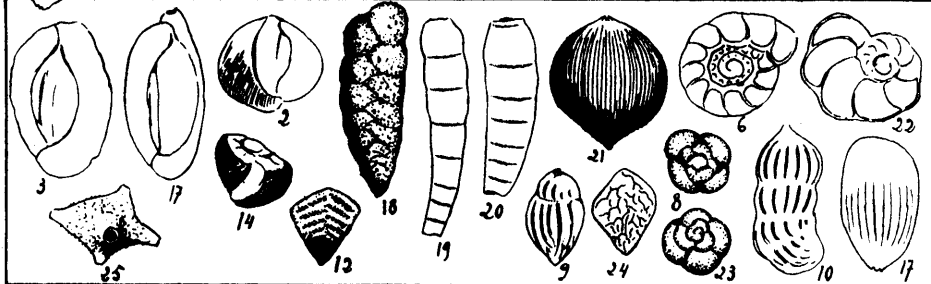
*Anomalina* cf. *bilateralis* Cush.

EXPLICACIÓN DE LAS FIGURAS 4, 5 Y 6

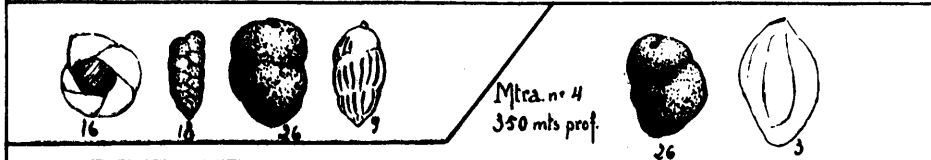
Mtra.  
nº 1  
100 mts.  
prof.



Mtra.  
nº 2  
170 mts.  
prof.



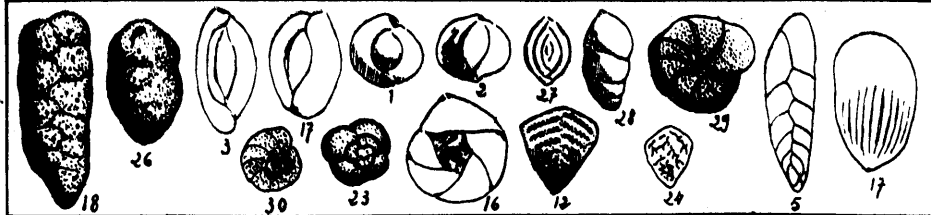
Mtra.  
nº 3  
290 mts.  
prof.



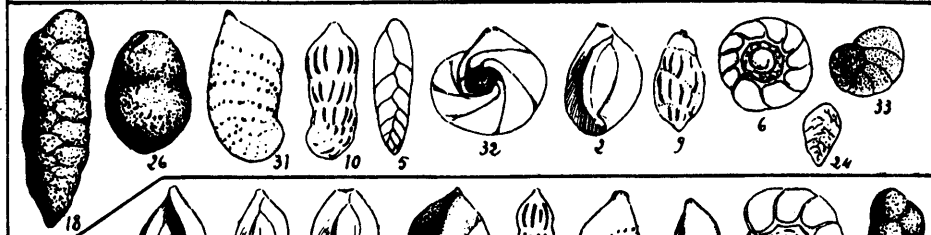
Mtra. nº 4  
350 mts. prof.



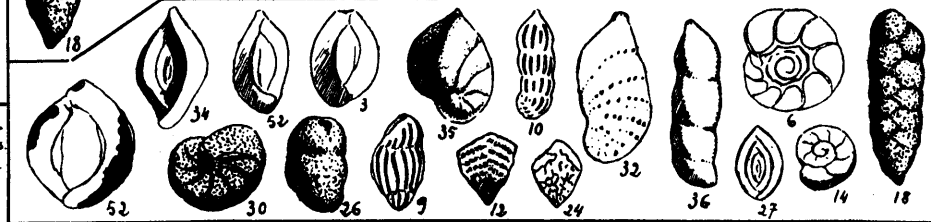
Mtra.  
nº 7  
435 mts.  
prof.



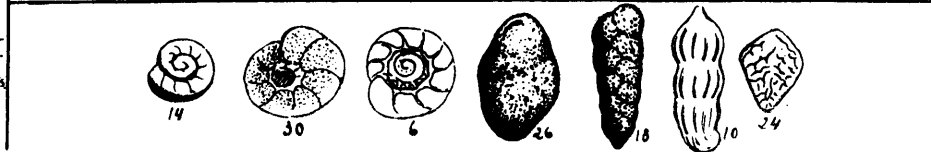
Mtra.  
nº 8  
440 mts.  
prof.



Mtra.  
nº 9  
470 mts.  
prof.



Mtra.  
nº 10  
520 mts.  
prof.



1. *Miliolinella centrata* (Terq.).
2. *Quinqueloculina ermani trigonostomea* Franz.
- 3-4. *Triloculina philippi* (Reuss).
5. *Virgulina dibollensis* Cush.
6. *Cibicides pseudoungerianus* Cush.
7. *Cibicides carrascalensis* Col.
8. *Globigerina mexicana* Cush.
9. *Uvigerina* sp.
10. *Marginulina behmi* Reuss.
11. *Spiroloculina* cf. *morloti* Reuss.
12. *Vulvulina nummulina* (Gümb.).
13. *Alabamina acutimargo* (Halk).
14. *Gyroidina guayabalensis* Cole.
15. *Robulus limbosus* Reuss.
16. *Robulus alato-limbatus* (Gümb.).
17. *Triloculina rostrata* (Terq.).
- 17 a. *Cythere* cf. *costellata* Bosq. (Ostrácodo).
18. *Textularia recta* Cush.
- 19-20. *Ellipsodonosaria verneuili* (d'Orb.).
21. *Pseudoglandulina abbreviata* Neug.
22. *Cibicides* cf. *mauricensis* How.-Rob.
23. *Globigerina venezuelana* Hadl.
24. *Bolivina reticulata* Hantk.
25. *Ramulina kittlii* Rze.
26. *Plectina eocenica* Cush.
27. *Massilina decorata* Cush.
28. *Marginulina pauciloculata* Hantk.
29. *Anomalina bilateralis* Cush.
30. *Cibicides sassei* Cole.
31. *Marginulina porvaensis* Hantk.
32. *Robulus foliatus* Stache.
33. *Valvulineria* cf. *jacksonensis* Cush.
34. *Spiroloculina bidentata* Hadl.
35. *Saracenaria arcuata* d'Orb.
36. *Marginulina indiferens* Hantk.
37. *Nodosaria* cf. *affinis* d'Orb.
38. *Karrerella halkyardi* Cush.
39. *Gaudryina quadrilatera* Cush.
40. *Cibicides praecursorius* Schwag.
41. *Cibicides perlucidus* Nutt.
42. *Robulus alabamensis* Cush.
43. *Robulus glaucina* Stache.
44. *Bolivina nobilis* Hantk.
45. *Chilostomella cylindroides* Reuss.
46. *Cibicides granosus* (Reuss).
47. *Lagena raricosta* d'Orb.
48. *Marginulina fragaria* Gümb.
49. *Bulimina truncana* Gümb.
50. *Triloculina* sp.
51. *Quinqueloculina* sp.
52. *Quinqueloculina* sp.

Fig. 4.



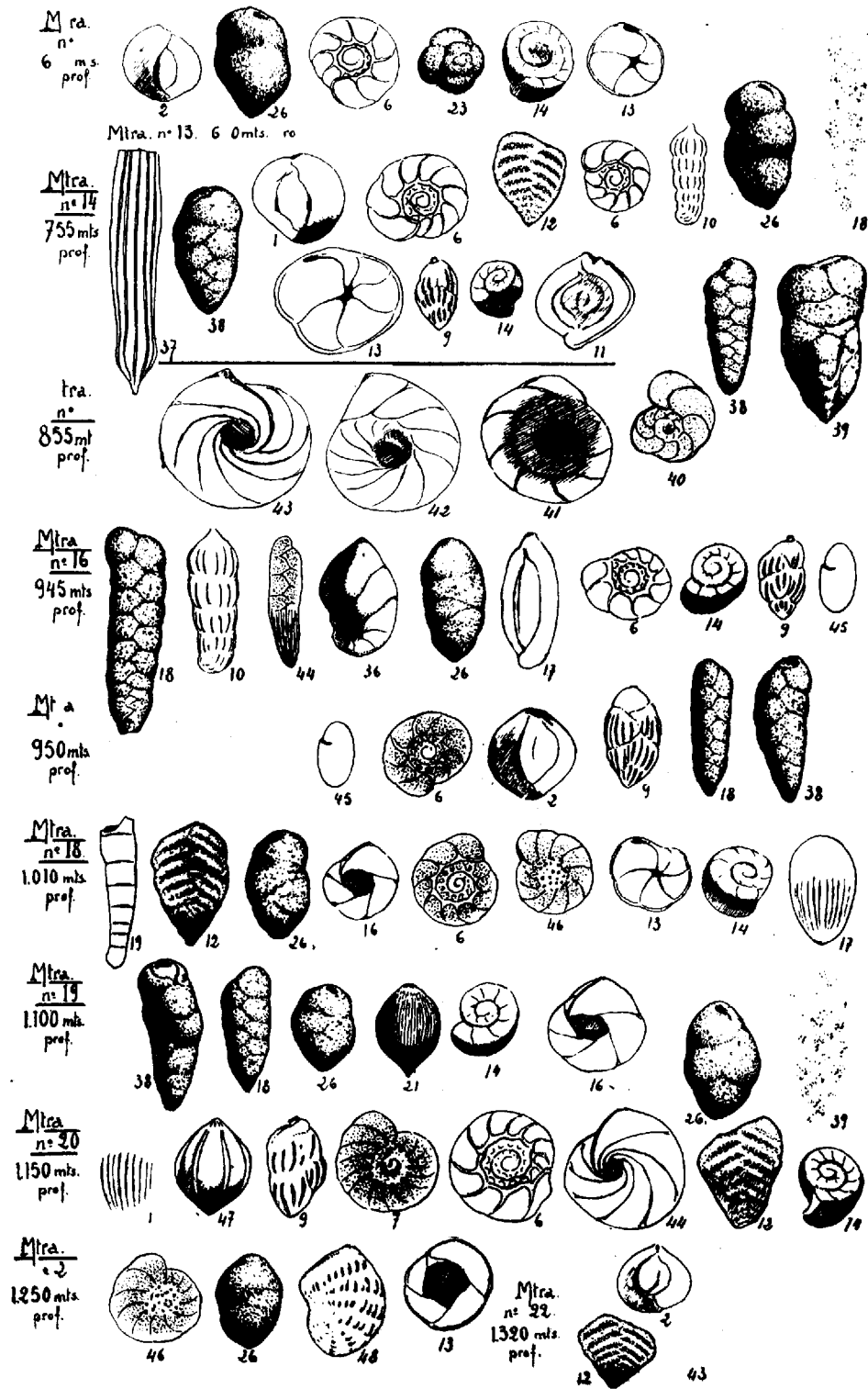


Fig. 5.

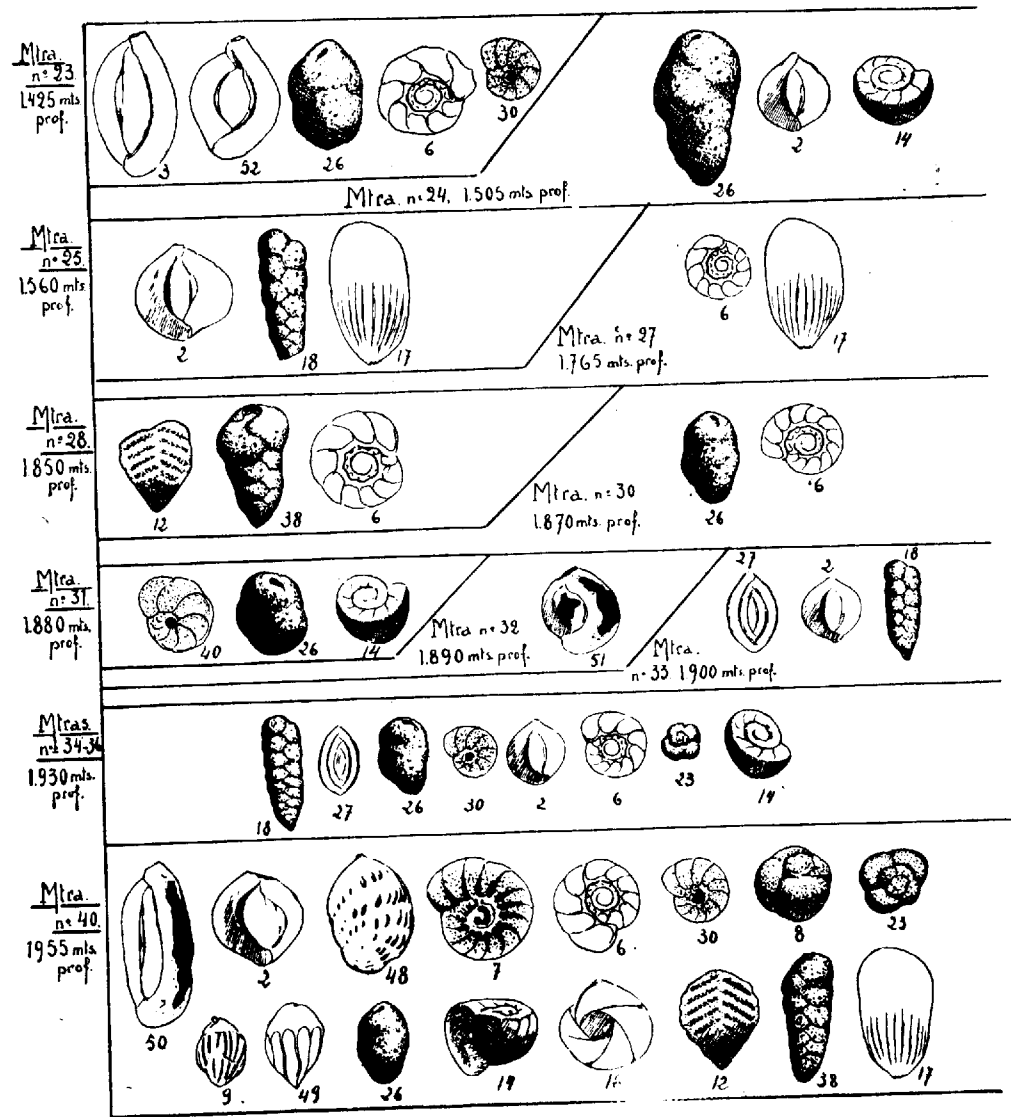


Fig. 6.

*Cibicides praecursorius* Schwag.

- » *granosus* (Reuss).
- » cf. *mauricensis* How.-Rob.
- » *carrascalensis* Col.

*Anomalina* sp.

*Cibicides perlucidus* Nutt.

- » *sassei* Cole.
- » *pseudoungerianus* Cush.

En total 15 familias con 58 especies (ver fig. 3). El conjunto no es ya tan completo en esta sección del sondeo, como en las poblaciones mencionadas anteriormente para los niveles altos del anticlinal, con sus 18 familias y 69 especies, aunque tales diferencias resulten de escaso valor (ver figs. 4, 5 y 6).

En su conjunto, podríamos afirmar que toda la sinecia de pequeños foraminíferos observada a lo largo de la masa margosa perforada, no es más que la continuación de la que ha sido citada en los niveles altos superficiales. La presencia o ausencia de una u otra forma no tiene gran valor, pues debe ser atribuible simplemente al diverso estado de conservación de los caparazones en los diferentes núcleos, lo que obliga siempre a dejar un cierto número de conchas sin clasificar debido a su avanzado estado de piritización. Este reducido tanto por ciento que queda indeterminado específicamente, completaría, probablemente, en caso de haberse podido lograr su estudio, las pocas diferencias existentes entre ambas listas de especies.

Llama la atención dentro del carácter ecológico de la mencionada sinecia la gran constancia de toda ella a través de la vertical de estos depósitos y aquí, como en los niveles altos superficiales, tenemos una serie de formas ampliamente extendidas en casi todas las muestras exami-

nadas. Las más notables y constantes de estas especies son las siguientes:

*Massilina decorata* Cush.

*Plectina eocenica* Cush.

*Karrerella halkyardi* Cush.

*Vulvulina nummulina* (Gümb.).

*Textularia recta* Cush.

*Uvigerina* sp.

*Quinqueloculina ermani trigonostomea* Franz.

*Cibicides sassei* Cole.

- » *granosus* (Reuss).

- » *pseudoungerianus* Cush.

*Gyroidina guayabalensis* Cole.

*Marginulina behmi* Reuss.

- » *porvaensis* Hantk.

Ese grupo de formas, base principal de esta segunda sinecia, se mantendrá muy constante, como veremos, a lo largo de la sedimentación de los depósitos de Oliana. Según las muestras o testigos, podrá observarse alguna variación en sus detalles, a causa de la predominancia que pudieron tomar, en un momento dado, determinadas especies, pero la variación resulta siempre muy poco sensible.

*Plectina eocenica*, *Karrerella halkyardi*, *Massilina decorata*, etc., pueden ofrecer, de cuando en cuando, un *optimum* de frecuencia más acentuado, debido, probablemente, a un determinado conjunto de condiciones ambientales que favorecieron con particular eficacia su desarrollo en un nivel dado. Lo mismo parece ocurrir con algunas *Quinqueloculinas* y *Triloculinas*, frecuentes en otros niveles y atribuible a causas semejantes. Debo de advertir tam-

bién ahora que los representantes de la familia *Miliolidae* son más numerosos en estos testigos de lo que aparece indicado en las listas y cuadros de distribución de especies, pues se presentan, en general, tan mal conservadas, que hasta el género resulta, a veces, de atribución dudosa. Pero su constancia en las muestras es siempre manifiesta.

La uniformidad de composición de tales sinecias resalta claramente. Tan sólo hacia los niveles correspondientes a algo más de la mitad de la perforación, núms. 25 a 36, tienden a reducirse sensiblemente, lo mismo en el número de especies que en individuos. Ignórase cuál habrá podido ser la causa de su empobrecimiento. Posiblemente el aumento de la impregnación piritosa observada en los estratos y traducida en el momento de su formación por una mayor preponderancia de sulfuros de hierro en sus lechos, tendía a alterar y empobrecer, debido a la serie de reacciones químicas que en aquellos momentos tuvieron lugar en su seno, a estas poblaciones de foraminíferos, reduciéndolas a un mínimo de especies y de individuos. Por tal motivo, subsistieron únicamente, en los niveles citados, las formas más fácilmente adaptables a las mencionadas circunstancias.

Esta particularidad va unida en la misma serie de muestras, o sean las mencionadas desde la núm. 25 a la 36, a la presencia entre sus poblaciones del fenómeno de la reducción del tamaño en los caparzones de una gran parte de las especies que vivieron en estos depósitos, relacionándolo con la probable existencia, dentro de un medio tan particular, a la presencia de faunas enanas («dwarfed faunas», de los autores americanos), más o menos marcadamente acentuadas, pero manifiestas, sobre todo, en los testigos 33 al 36 (ver fig. 6), pues en estos niveles hállase bastante acentuado el mencionado fenómeno biológico.

Sin embargo, tal particularidad biológica no llegó a imponerse de manera manifiesta, como ocurre en ciertos casos observados hasta la exageración en la vertiente francesa de los Pirineos, pero en series sedimentarias correspondientes al cretáceo superior (Gubler, 1943).

A pesar de todo lo indicado, desde los testigos números 35-46, las mismas asociaciones, sin variación alguna, vuelven a imponerse nuevamente y de manera normal, terminando con un conjunto de formas en absoluto semejantes a las que caracterizaban los niveles altos superficiales de Oliana.

Sorprende grandemente esa constancia tan acentuada de las poblaciones de microforaminíferos a lo largo de las diversas muestras examinadas del anticlinal de Oliana, sean superficiales o correspondan a los lechos atravesados por la sonda. De una manera gráfica han quedado expuestas en las figs. 4, 5 y 6. Y sin embargo, es ello natural y no debiera de sorprendernos, pues conocida es actualmente la constancia que los organismos ofrecen, sean foraminíferos o bien pertenezcan a otros grupos, al medio dentro del cual se desenvuelven, sobre todo cuando aquél permanece inalterable o sufre, tan sólo, mínimas variaciones dentro de su área. Entonces, todo el conjunto de la sinecia que en él se desarrollaba, pudo permanecer estacionaria y sin alteración alguna durante espacios de tiempo de enorme duración.

Sabido es hoy el papel que desempeñan, y lo mucho que favorecieron la presencia de especies fósiles características, las rápidas variaciones de facies en los antiguos mares, con la consiguiente alteración de las agrupaciones de seres que tales cambios afectaban. La constancia de las sinecias de Oliana es el detalle más característico de su ecología. Los depósitos margosos atravesados por la sonda

son, como hemos visto, de una monotonía litológica abrumadora. Sus microforaminíferos responden entonces, con su absoluta uniformidad, al monótono ritmo de la sedimentación establecida sobre la mencionada área leridana. Y lo mismo podríamos decir para otras zonas de las margas azules bartonienses de la cuenca de Navarra.

El conjunto de las microfaunas de Oliana ofrecen una identidad completa de composición con las de la misma edad y facies de Navarra. Sería inútil trazar cuadros de distribución de especies, pues todas ellas se las encuentra en ambas provincias. Al lector interesado en tales estudios le remito a un extenso trabajo, publicado en la revista «Estudios Geológicos», n.º 12, 1950.

Analizando ahora la particularidad de esta constancia en las sinecias de Oliana, nótase, además de la uniformidad de las mismas, que en ninguna de las muestras obtenidas aparecen nuevos tipos que intenten una renovación, con introducción de nuevas especies propias de niveles más inferiores de los estratos eocénicos. Todo el conjunto mencionado, más bien pobre, si lo consideramos únicamente por niveles, prosigue su lento e imperturbable desarrollo sin presentar modificación alguna.

En las muestras obtenidas con la sonda, las especies planctónicas no abundan. Resultan más frecuentes, si cabe, en los estratos altos, superficiales, ya estudiados. Todos los testigos contienen Globigerinas, pero en tan escasa proporción que, litológicamente, no pueden tenerse en cuenta. Esta penuria en especies pelágicas revela la pobreza del plancton globigerínico en los mares que cubrieron tales depósitos. Las formas del bentos, en cambio, predominaron largamente; Miliólidos y Anomalínidos fueron frecuentes, indicando profundidades de escaso valor, a pesar de la abundancia de los Lagénidos, propios ya

estos últimos de zonas más profundas. Pero aunque representados los Lagénidos por variadas especies (16), son escasos, en cambio, en individuos, a veces representados por un solo ejemplar.

Teniendo en cuenta la litología de la serie margosa estudiada, además de la sinecia de microforaminíferos que pobló sus depósitos, parece posible atribuirle a una formación bartoniense, más o menos alejada del talud continental que, en nuestro caso, sería el eje de la zona axial pirenaica, que elevándose iba desplazando lentamente hacia el Sur el área profunda de la vertiente española, pero en relación siempre con una zona marina de este tipo. En sus depósitos formáronse grandes espesores de barros azules cargados de sulfuros de hierro; algo equivalente, en parte, a los actuales «blue muds» de los oceanógrafos.

En las zonas de sedimentación de este tipo de los mares actuales, se ha observado que sus faunas de foraminíferos no suelen ser, casi nunca, ricas ni variadas, y que hasta un determinado número de sus componentes pueden provenir de otras áreas de sedimentación aportados por corrientes, etc. Esta inferioridad de la vida en tales zonas, puede ser atribuida, en parte, a su formación, sujeta a una cuenca marina, más bien poco abierta en el mar libre y, en la cual, su composición química especial la hace poco apta para el normal desenvolvimiento de los foraminíferos bentónicos. Hay una cierta concordancia —indicada ya— entre la abundancia de sulfuros de hierro, traducible, actualmente, por un fuerte aumento de impregnación pirítica en los núcleos correspondientes a los núms. 25-36, y a la anotada disminución del tamaño de los caparzones de los foraminíferos en tales estratos.

De todos modos, ningún nivel glauconioso ha sido cortado por la sonda, indicador siempre de una sedimenta-

ción, aunque posiblemente detrítica todavía, de todas maneras más característica de un mar libre.

Actualmente son bien conocidos los fenómenos de la diagénesis glauconiosa ligados a amplias zonas neríticas, en las que prevalece un medio oxigenado; en cambio, la diagénesis piritosa tiene lugar, principalmente, en los medios reductores de las cuencas cerradas, muy cargadas a veces de impregnaciones sapropélicas.

De todo ello se desprende, a mi parecer, que el conjunto de microforaminíferos observados indican, más bien, niveles bartonienses, a pesar de la enormidad del espesor atravesado, correspondiendo los estratos de la parte superior del anticlinal de Oliana a una zona de carácter más claramente pelágico que los que provienen de los núcleos extraídos por la sonda.

En cuanto a los últimos testigos, los más profundos, no me es posible negar la posible existencia en ellos de lechos lutecienses. Pero la microfauna estudiada resulta impotente para resolver este problema, a causa de su conocida uniformidad. Sin embargo, no me sería posible llegar a una conclusión de este tipo valiéndome de todos los datos de que he dispuesto al escribir estas líneas, sino más bien me inclinaría a aceptar el hecho de que la sonda, al atravesar el mencionado anticlinal de Oliana, no taladró de manera completa el gran espesor de las margas bartonienses, sino que debido a las presiones tangenciales la charnela o núcleo del anticlinal leridano, contiene comprimida, en grado sumo, una enorme masa margosa de la edad indicada, que la sonda no llegó a atravesar por completo. Sería, pues, atribuible el enorme espesor de las margas azules a un origen tectónico, el cual ha impedido, en este caso, alcanzar los lechos más inferiores, correspondientes de manera manifiesta al luteciense y al eoceno inferior,

manteniéndose siempre la sonda dentro de los estratos bartonienses, cuyo espesor normal, en otras localidades, no llega nunca a tamaña proporción.

A pesar del conocimiento preciso que actualmente hemos logrado de estas microfaunas bartonienses, no tan sólo en la localidad de Oliana, sino también en otras zonas de las provincias de Cataluña y Navarra, lo que invalida, en gran parte, nuestras posibles deducciones y correlaciones de carácter estratigráfico en cuestiones de micropaleontología de estas épocas, es la ignorancia en que estamos todavía respecto a la composición de las demás sinecias de los niveles del eoceno medio e inferior a igual que las de los lechos más altos del oligoceno. Ignorándolo todo de estas edades, no resulta factible aun fijar de manera precisa el verdadero valor vertical de las sinecias encontradas en Oliana, con la posible localización de algunas de ellas en determinados pisos a pesar de la constancia de la facies, o bien la exacta difusión de otras en un momento dado.

Si con la continuación de estos trabajos se logra obtener un conocimiento más completo de los microforaminíferos eocenos, podrá, entonces, intentarse fijar algunos jalones, aunque débiles todavía por lo sugestivas que resultan siempre tales investigaciones, permitiéndonos caracterizar, como se ha logrado en otros países, a las principales poblaciones de estos microforaminíferos y comprender seguidamente su verdadero valor estratigráfico en nuestra patria.

\* \* \*

En las páginas que siguen se estudian con algún detalle sistemático y bioestratigráfico la mayor parte de las especies mencionadas en el texto.

*Robulus limbosus* (Reuss). — Reuss, «K. Akad. Wiss. Math.-Naturw. Kl., Wien», Vol. 48, 1863, p. 55, lám. 6, fig. 69.—Colom, «Estudios Geológicos», n.º 12, 1950.

Los tipos de Reuss provienen del oligoceno. Especie abundante en las margas azules bartonienses de Navarra.

*Robulus inornatus* (d'Orb.).—d'Orbigny, «Foram. Foss. Bass. Tert. Vienne», 1846, p. 102, lám. 4, figs. 25-26.

Los tipos de d'Orbigny son del terciario alto. Sin embargo, esta especie, o formas muy afines, parecen existir en estos lechos eocenos.

*Robulus convergens* (Born.).—Bornemann, «Deutsch. Geol. Gess. Zeitschr. Berlin», Vol. 7, 1855, p. 327, lám. 13, figs. 16-17.

Los tipos son del oligoceno. Los ejemplares hallados en Oliana, a causa de su mal estado de conservación, no siempre es posible determinarlos con seguridad.

*Robulus glaucina* (Stache).—Stache, «"Novara"-Exped., 1857-59, Wien. Geol.-Theil.», 1865, Vol. 1, p. 241, lám. 93, fig. 20.

Los tipos de Stache provienen del eoceno. Es frecuente en las margas azules de Navarra.

*Robulus alabamensis* Cush.—Cushman, «Contr. Cush. Lab. Foram. Res.», Vol. 20, 1944, p. 33, lám. 5, fig. 13.

Los tipos de Cushman provienen del Paleoceno superior. Esta especie, sin quilla y con cámaras finales con tendencia a desenrollarse, es más bien rara en Oliana.

*Robulus denticuliferus bartonianus* Ruiz-Col.—Ruiz y Colom, «Estudios Geológicos», n.º 12, 1950.

Esta nueva variedad abunda en la localidad de Malkaiz (Navarra), en los lechos de margas azules del

bartoniense. Ha sido encontrado, igualmente, en los niveles altos de Oliana, A y «A».

*Robulus alato-limbatus* (Gümbel).—Gümbel, «K. Bayer Akad. Wiss. München. Math.-Phys. Kl.», Vol. 10, 1868, p. 641, lám. 1, fig. 70.

Los tipos de Gümbel son del eoceno. Es una de las formas más frecuentes en estos niveles de Oliana y en todo el bartoniense de Navarra.

*Robulus arcuato-striatus* (Hantk.).—Hantken, «Magy. Foldt. Tass. Numm. Pest.», Vol. 4, 1868, p. 93, lám. 2, fig. 30.

Los tipos de Hantken provienen del oligoceno. Esta especie, con numerosas cámaras muy arqueadas, es frecuente en el bartoniense navarro.

*Robulus articulatus texanus* (Cush.-Appl.).—Cushman y Applin, «Amer. Assoc. Petr. Geol. Bull.», Vol. 10, 1926, p. 170, lám. 8, figs. 1-2.

Un solo ejemplar en el nivel «A» de los lechos superiores de Oliana.

*Saracenaria arcuata* d'Orb.—d'Orbigny, «Foram. Foss. Bass. Tert. Vienne», 1846, p. 87, lám. 3, figs. 34-36.—Colom, «Estudios Geológicos», n.º 2, 1946, p. 68, lám. 4, figs. 73-74.

Los tipos de d'Orbigny son del mioceno de Viena. Los ejemplares son siempre escasos en Oliana. Tal vez algunos de ellos, los más desenvueltos, pertenecan a la variedad *Hantkeni* Cush., forma del eoceno.

*Nodosaria* cf. *affinis* d'Orb.—d'Orbigny, «Foram. Foss. Bass. Tert. Vienne», 1846, p. 39, lám. 1, figs. 36-39.

Sólo han sido encontrados fragmentos, muy afines a esta especie, aparecida, probablemente, desde el eoceno. Pero los tipos de d'Orbigny son de la cuenca de Viena.

*Lagena* cf. *raricosta* d'Orb.—d'Orbigny, «Voy. Amér. Merid.», Vol. 5, 1839, p. 20, lám. 5, figs. 10-11.

Esta especie de d'Orbigny es una forma actual. No obstante, no parece posible separar de ella el único ejemplar encontrado en el bartoniense de Oliana.

*Pseudoglandulina abbreviata* (Neugeb.).—Neugeboren, «Siebenb. Ver. Naturw. Hermannstadt», N. 3, 1850, p. 48, lám. 1, fig. 1.

No parece posible separar de esta forma de Neugeboren, cuyos tipos provienen del terciario superior, de los que se hallan en el bartoniense. En bastantes ejemplares la fina estriación longitudinal casi ha desaparecido, debido al desgaste de su concha.

*Pseudoglandulina* cf. *manifesta* (Reuss).—Reuss, «Naturw. Abh. Wien.», Vol. 4, 1851, p. 22, lám. 2, fig. 4.

Los tipos de Reuss son del cretáceo superior. Es una forma rara en Oliana, y debido a su mal estado de conservación, la determinación es algo dudosa.

*Guttulina caudata* d'Orb.—d'Orbigny, «Ann. Sci. Nat.», Vol. 7, 1826, p. 266, n. 16.—Colom, «Estudios Geológicos», n. 2, 1946, p. 69, lám. 1, fig. 18.

Parece existir esta especie en el luteciense de Francia. Es forma rara en los niveles de Oliana.

*Ellipsonodosaria verneuili* (d'Orb.).—d'Orbigny, «Foram. Foss. Bass. Tert. Vienne», 1846, p. 48, lám. 2, figs. 7-8. Colom, «Estud. Geol.», n. 2, p. 41 y 73, lám. 1, fig. 10.

Se han encontrado fragmentos únicamente de esta especie, pero algunos de ellos resultan bien típicos de esta forma de d'Orbigny, ampliamente extendida desde el eoceno superior hasta el mioceno, pero frecuente, al parecer, en el oligoceno.

*Triloculina rostrata* (Terq.).—Terquem, «Mem. Soc. Géol. France», 1882, Ser. 3, n. 3, p. 174, lám. 18, figs. 18-19.

Los tipos son eocénicos. Se caracteriza por su concha lisa, muy alargada, estrecha y con bordes redondeados.

*Quinqueloculina ermani trigonostomea* Franz.—Franzenau, «Földt. Kosl., Budapest», 1881, Vol. 2, p. 98, lámina 3, figs. 10-12.

Los tipos de Franzenau provienen del mioceno inferior. Esta forma muy ancha, triangular vista desde arriba, es frecuente en los niveles de Oliana y en las margas bartonienses de Navarra.

*Quinqueloculina alabamensis* Cush.—Cushman, «Contr. Cush. Lab. Foram. Res.», Vol. 20, 1944, p. 30, lám. 5, fig. 4.

Los tipos de Cushman son del eoceno superior de la América del Norte. Ejemplares estrechamente relacionados con esta especie, parecen existir en las margas de Navarra y también en los niveles de Oliana. No obstante, su clasificación no es precisa.

*Spiroloculina* cf. *jarvisi* Cush.—Cushman, «Contr. Cush. Lab. Foram. Res.», Spec. Publ. n. 11, 1944, p. 14, lám. 3, figs. 10-11.

Forma escasa, con una marcada excavación entre las cámaras. Los tipos fueron descritos del eoceno superior. En Oliana ha sido observada en el núcleo n.º 1.

*Spiroloculina* cf. *morloti* Reuss.—Reuss, «K. Akad. Wiss. Denkschr. Math.-Naturw. Kl. Wien», Vol. 23, 1864, p. 7, lám. 1, fig. 10.

Unos pocos ejemplares de Oliana son referibles a esta especie de concha muy aplanada, ovalada y con una acusada depresión entre las cámaras. Los tipos son del eoceno superior.

*Spiroloculina bidentata* Hadl.—Hadley, «Bull. Amer. Paleont.», Vol. 22, 1935, p. 5, lám. 1, fig. 4.

Forma muy característica, con sus amplios bordes abarquillados sobre su lado plano, y su contorno muy alargado, dando una concavidad central bien manifiesta. En el núcleo núm. 9 de Oliana han sido encontrados bastantes ejemplares, lo que ha permitido clasificarla con seguridad. Los tipos provienen de la «Jackson formation», U. S. A.

*Ramulina kittlii* Rze.—Rzehak, «Geol. Reichsanst. Vesh. Wien», 1885, p. 187, lám. 6, figs. 7, 9, 11.

En el bartoniense de Navarra han sido encontrados mejores ejemplares que en Oliana, y con su ayuda han podido determinarse los de esta última localidad. Los ejemplares típicos de Rzehak provienen de lechos bartonienses.

*Chilostomella cylindroides* Reuss.—Reuss, «Deutsch. Geol. Gess.», Vol. 3, 1851, p. 60, lám. 6, fig. 43.—Colom, «Estud. Geol.», n. 2, 1946, p. 74, lám. 5, fig. 124-129.

Los tipos de Reuss provienen del oligoceno de la Europa central. Esta especie está muy difundida en las margas bartonienses de Navarra, abundando en algunos niveles. Lo mismo ocurre en Oliana, principalmente en los estratos más altos de la serie estratigráfica.

*Uvigerina* cf. *topilensis* Cush.—Cushman, «U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.» 181, 1935, p. 41, lám. 16, fig. 4.

Debido a la mala conservación de los ejemplares recolectados, no es posible afirmar con seguridad la presencia de esta especie en los niveles de Oliana. No obstante, muchos de ellos parecen íntimamente relacionados con la forma de Cushman, frecuente en el eoceno superior de la América del Norte.

*Bulimina* cf. *ovata* d'Orb.—d'Orbigny, «Foram. Foss. Bass. Tert, Vienne», 1846, p. 185, lám. 11, figs. 13-14.

En el nivel «A», de Oliana, encuéntrase ejemplares estrechamente relacionados con esta especie de d'Orbigny. Pero su determinación es incierta.

*Discorbis* cf. *alveata* Cush.—Cushman, «U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.» 181, 1935, p. 44, lám. 17, fig. 4.

Un pequeño *Discorbis* del nivel «E», de Oliana, parece próximo a esta forma de Cushman, procedente de la «Jackson formation» y extendido durante el eoceno superior en la América del Norte. Hacen falta más y mejores ejemplares para determinarlo con seguridad.

*Cibicides sasseyi* Cole.—Cole, «Bull. Amer. Paleont.», Vol. 14, 1927, p. 35, lám. 4, figs. 10-11.

Esta diminuta especie de Cole, de tipo *anomalinoides*, concha biconvexa, periferia poco angulosa, cámaras numerosas y un grueso botón central en el lado dorsal, parece existir en bastantes niveles de los atravesados por la sonda. Sus ejemplares son, a veces, muy diminutos y muy mal conservados, lo que dificulta su reconocimiento. Los ejemplares tipos de Cole provienen de los lechos altos de la formación «Clairborne», existiendo también en la formación «Guayabal» (eoceno medio).

*Cibicides* cf. *mauricensis* Howe-Rob.—Howe y Roberts, «Geol. Surv. Louisiana Bull.», n. 14, 1939, p. 87, lám. 13, figs. 4-5.

Los tipos provienen de la «formation Clairborne» (ludiense). Unos pocos ejemplares, defectuosos, muestran grandes analogías con esta especie. Precisarán mejores materiales para identificar esta forma de Howe y Roberts, acantonada en el eoceno más superior de la América del Norte.



*Discocyclina varians* (Kaufm.).

» *oliana* Alm.-Ríos.

» *douvillei* Schl.

*Asterodiscus stella* (Gümb.).

Estas cuatro especies han sido encontradas en los ni-

	Sta. 69-A	Sta. 73-A	Sta. 75-B	Sta. 79-B	Sta. 88.	Sta. 91-A	Sta. 93-A	Sta. 94-A
- Esp. pelágicas -								
<i>Globigerina mexicana</i> .....						●		●
<i>Gyroldina guayabalensis</i> .....						●		
- Esp. bentónicas -								
<i>Robulus</i> sp.....	●						●	
" sp.....		●		●	●	●		
<i>Marginulina bahmi</i> .....						●		
<i>Ellipsonodoseria verneuli</i> .....						●		
<i>Bolivina striato-carinata</i> .....								●
<i>Textularia recta</i> .....	●							
<i>Karrerella halkyardi</i> .....		●						
<i>Textularia</i> sp.....						●	●	
<i>Vulvulina nummulina</i> .....		●	●		●			●
" <i>pectinata mexicana</i> .....								●
<i>Cibicides carrascalensis</i> .....	●							
" <i>pseudoungerianus</i> .....	●					●		
" <i>sassei</i> .....						●		
<i>Anomelina</i> sp.....					●			
<i>Bulimina</i> .....								●
<i>Spiroloculina bidentata</i> .....							●	
" sp.....			●			●		
<i>Triloculina</i> sp.....		●	●					
" sp.....				●				
<i>Quinqueloculina</i> sp.....					●	●		
" <i>ermanitrigonostomes</i> .....							●	●
OSTRÁCODOS.....	●			●			●	
<i>Cythere</i> cf. <i>castellata</i> .....							●	
BRIOZOOS.....				●	●			

Cuadro estratigráfico n.º 3 de las margas azules de Vich (provincia de Barcelona), Luteciense-bartoniense. 800 m. de espesor.

veles altos de Oliana, pero no han vuelto a aparecer en ninguno de los otros estratos.

### La serie de Vich (Prov. de Barcelona)

A lo largo del eoceno superior que aflora cerca de Vich, se han recogido y preparado ocho muestras margosas, de las cuales se obtuvieron un reducido conjunto de microforaminíferos. Estas ocho muestras se distribuyen, desde los lechos más altos del bartoniense hasta alcanzar, posiblemente, con la muestra núm. 69-A, los primeros lechos lutecienses. En total, unos 800 metros de espesor.

Se exponen en el cuadro estratigráfico núm. 3, las especies encontradas en cada muestra para que puedan servirnos de elementos de comparación con los depósitos de Oliana. Pero el conjunto de las poblaciones logradas en la serie de Vich es pobrísimo, resultando de escaso valor comparativo.

A pesar de ello, las sinecias de Vich tienden a indicarnos igual monotonía de composición, siendo, todas ellas, las mismas que las ya mencionadas de Oliana.

28 de junio 1950.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALMELA, A., y RÍOS, J. M.: «Explicación al mapa geológico de la provincia de Lérida».—Publ. Inst. Geol. y Min. de España, 1 vol. Madrid, 1947.
- BURGER, J., CUVILLIER, J., y SCHOEFFLER, J.: «Stratigraphie du Nummulitique de la Chalosse de Montfort».—Bull. Soc. Géol. Fr., Ser. 5, Vol. 15, 1945, p. 207.
- BURGER, J., y SCHOEFFLER, J.: «Sur une coupe de l'Eocène au flanc Sud de l'anticlinal d'Audignon».—C. R. Somm. Soc. Géol. Fr., n. 11, 1944, p. 132.
- CUVILLIER, J.: «Le "bartonien" de Tercis (Landes)».—C. R. Somm. Soc. Géol. Fr., n. 4, 1945, p. 32.
- CUVILLIER, J.: «Relations entre la Crétacé et l'Eocène inférieur en Aquitaine meridionale».—C. R. Somm. Soc. Géol. Fr., n. 15, 1945, p. 218.
- CUVILLIER, J., y SCHOEFFLER, J.: «Esquisse géologique de la commune de Sainte-Marie-de-Gosse (Landes)».—Bull. Soc. Géol. Fr., Ser. 5, vol. 16, 1946, p. 91.
- CUVILLIER, J., y DUPOUY-CAMET, J.: «Les bancs de conglomérats dans le Lutetien supérieur du Bas-Adour et leur signification tectonique».—C. R. Somm. Soc. Géol. Fr., n. 11, 1946, p. 214.
- CUVILLIER, J., y SZAKALL, V.: «Foraminifères d'Aquitaine».

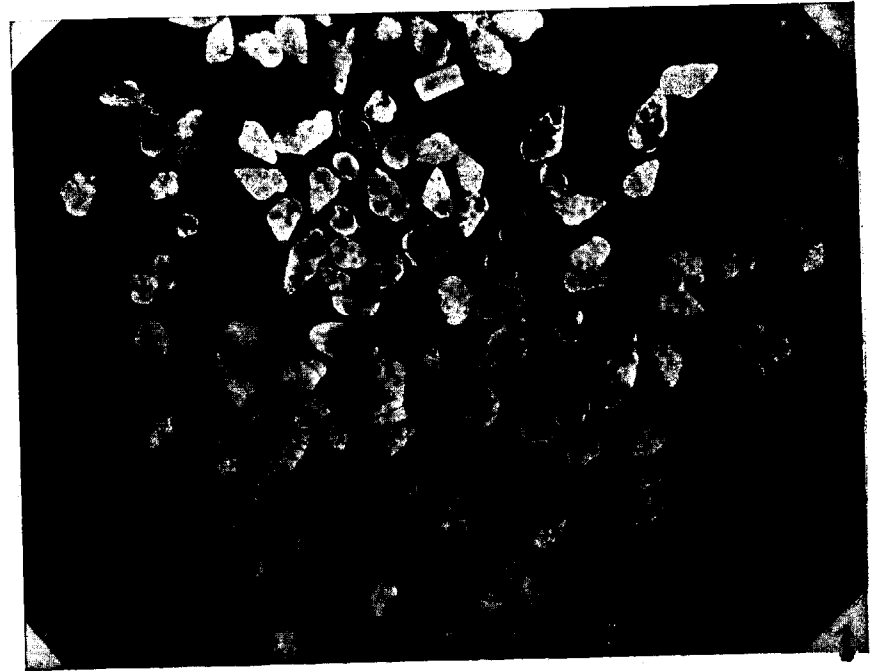
- Soc. Nat. des Pétr. d'Aquitaine, 1 vol. Toulouse, 1949.
- CUVILLIER, J., y SZAKALL, V.: «Evolution du genre *Globorotalia* dans l'Eocène, en Aquitaine Occidentale». — C. R. Somm. Soc. Géol. Fr., n. 2, 1948, p. 81.
- CUVILLIER, J.: «Présence de l'Eocène inférieur dans l'anticlinal de Tercis (Landes)». — C. R. Somm. Soc. Géol. Fr., n. 6, 1943, p. 57.
- GUBLER, Y.: «Sur la stratigraphie du Flysch du Sud de Pau (Basses-Pyrénées)». — Bull. Soc. Géol. Fr., Ser. 5, vol. 16, 1946, p. 401.
- GUBLER, Y.: «Observations sur les variations de faciès du Crétacé supérieur en rapport avec les jeux de socle des massifs primaires du Pays Basque (Aldudes-Mendibelza)». — Meeting Géologique A. F. I. L. 30 Nov., 1947, Paris.
- GUBLER, Y., y POMBYROL, R.: «Nouvelles observations stratigraphiques dans l'Eocène du Sud de Pau (Basses-Pyrénées)». — Bull. Soc. Géol. Fr., Ser. 5, vol. 16, 1946, p. 423.
- GUBLER, Y., y VATAN, A.: «Rythmes de sédimentation dans les zones de Nelzen, du Pech de Foix et du Dreuilhe (Ariège), pendant les temps Crétacés». — Bull. Soc. Géol. Fr., Ser. 5, vol. 13, 1943, p. 299.
- TEN DAM, A.: «Stratigraphie, Sédimentation et Micropaleontologie». — Bull. Soc. Géol. Fr., Ser. 5, vol. 15, 1945, p. 67.

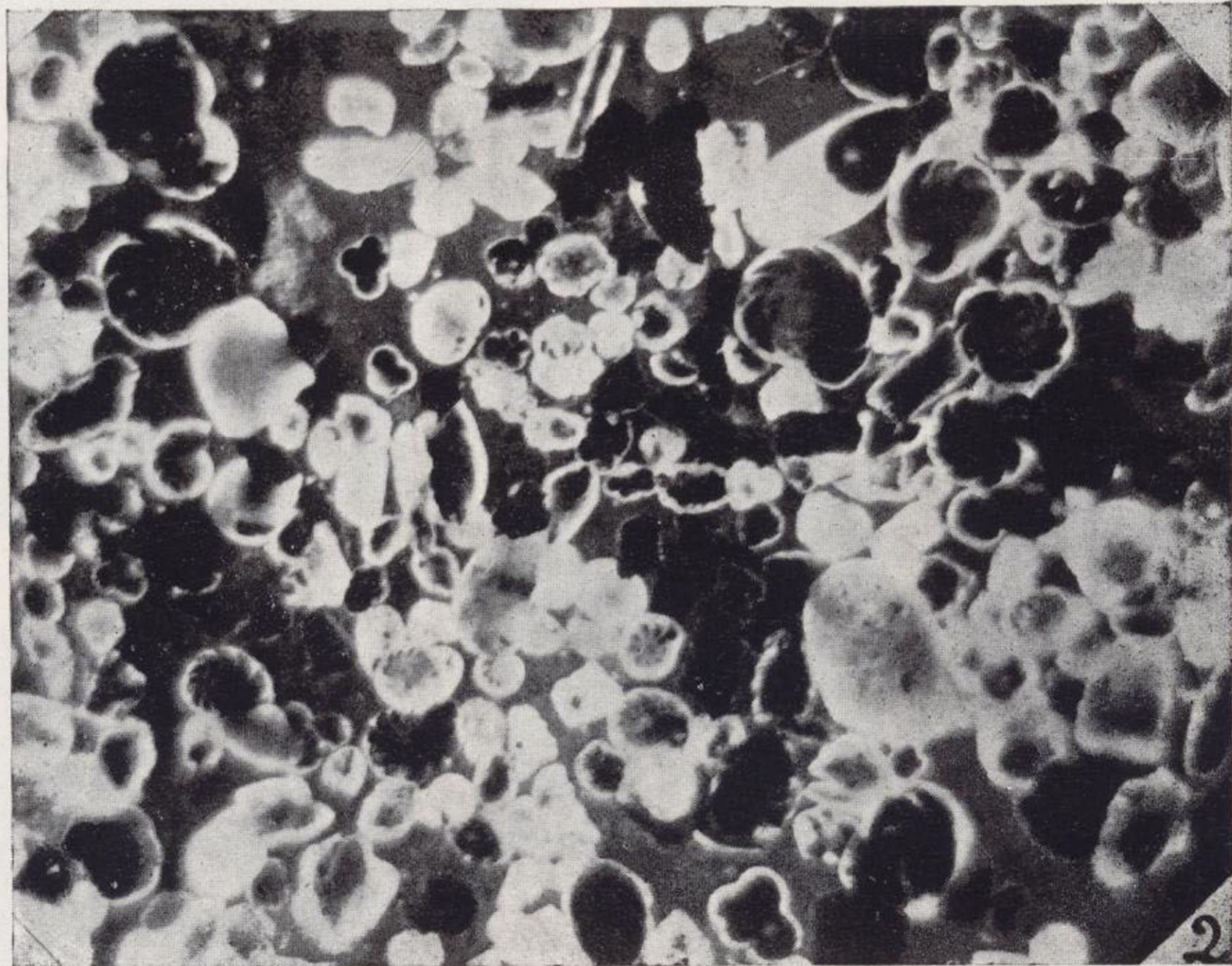
## LÁMINAS

## LÁMINA I

Fig. 1.—*Gümbelina goodwini* Cush.-Jarv., predominante, *Chilostomella cylindroides* Reuss y formas juveniles de diversos *Cibicides*, vistos con luz lateral sobre fondo negro (preparación montada al bálsamo del Canadá). Niveles altos de Oliana. Niv. «D»  $\times 100$ .

Fig. 2.—«Rotálidos», *Globigerina* cf. *ouachitaensis* How.-Vall., y otras formas mal conservadas, vistas con luz lateral sobre fondo negro (preparación montada al bálsamo del Canadá). Niveles altos de Oliana. Niv. «E»  $\times 60$ .





## LÁMINA II

Secciones de diversos foraminíferos de las margas atravesadas por la sonda.

Fig. 1.—*Uvigerina* sp. Núcleo n. 17.  $\times 200$ .

Fig. 2.—*Cibicides* cf. *pseudoungerianus* Cush., Núcleo n. 28,  $\times 200$ .

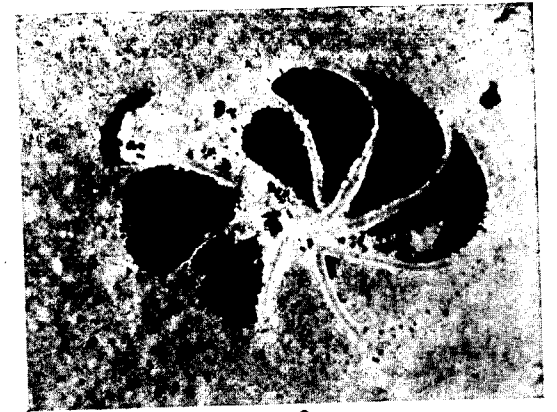
Fig. 3-6.—Secciones diversas de *Globigerina* cf. *ouachitaensis* How.-Wall., correspondientes a los núcleos 3, 5, 14, 20,  $\times 200$ .

Fig. 7.—Sección longitudinal de una *Karreriella* sp. Núcleo n. 14,  $\times 200$ .

Fig. 8.—Sección longitudinal de una *Nodogenerina* sp. Núcleo n. 19,  $\times 200$ .



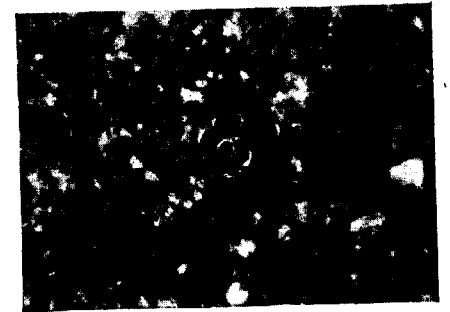
1.



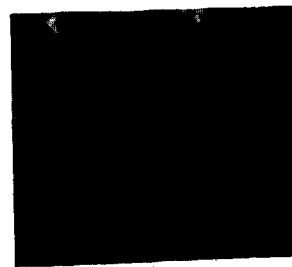
2.



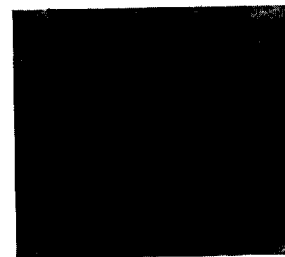
3.



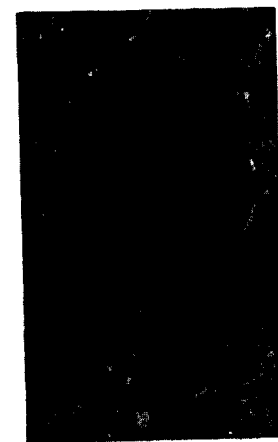
4.



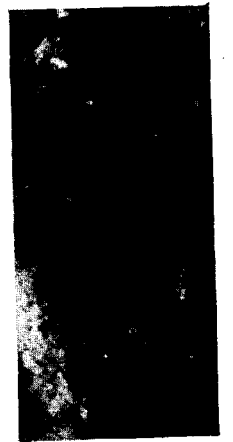
5.



6.



7.



8.

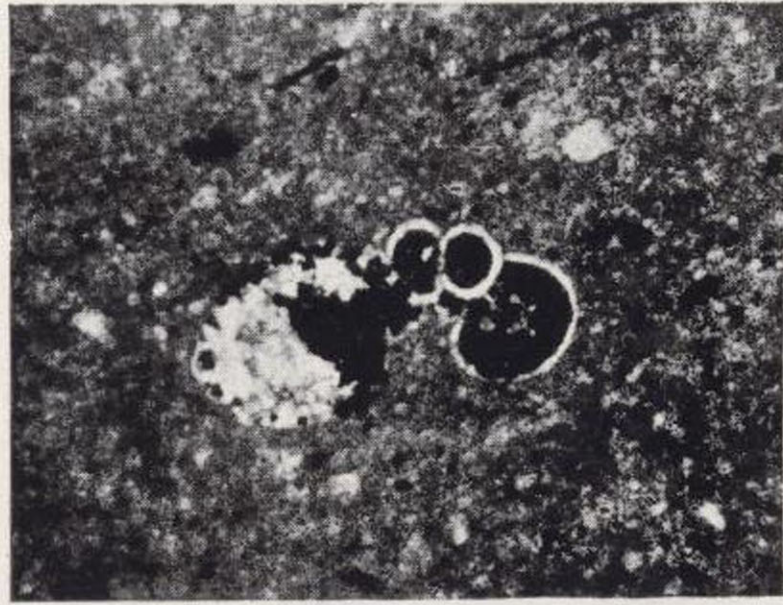




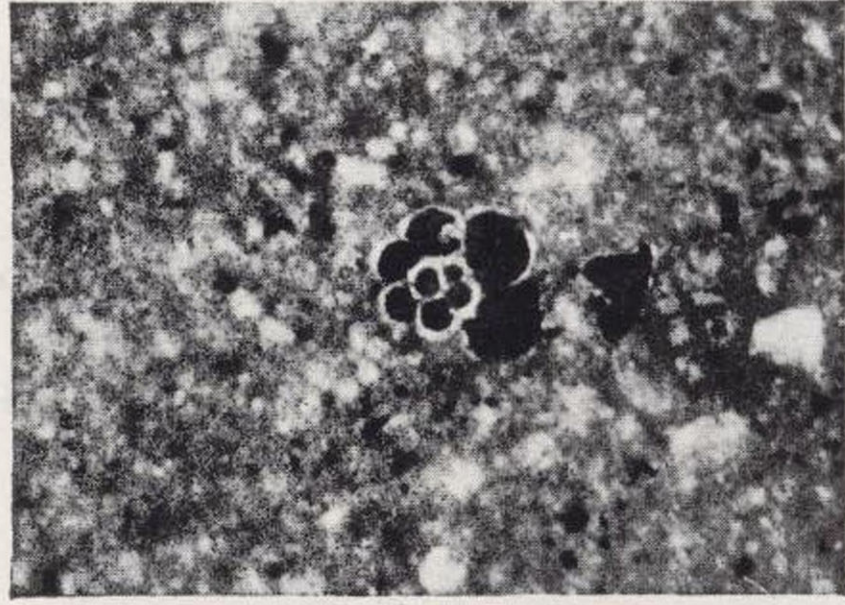
1.



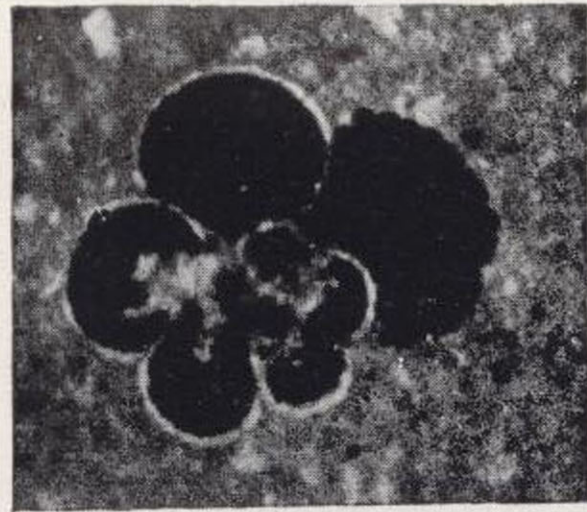
2.



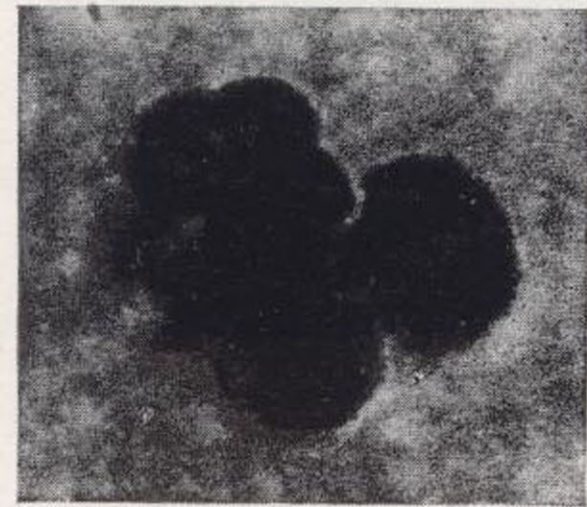
3.



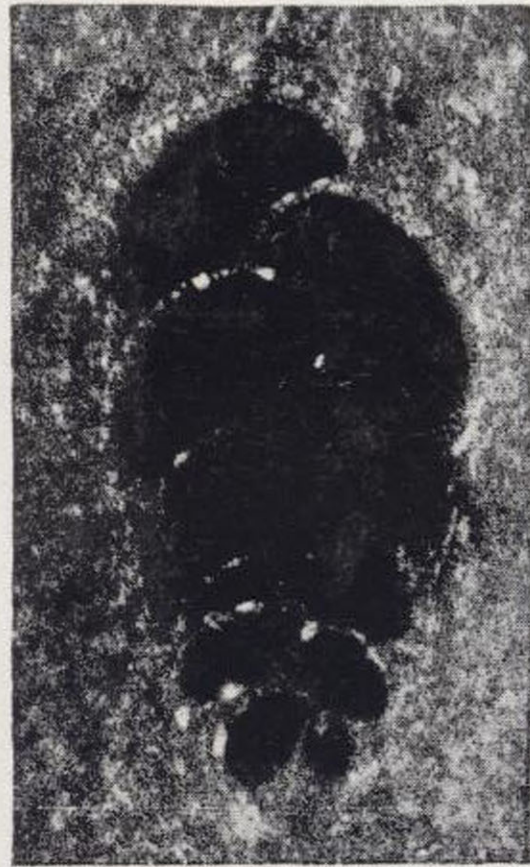
4.



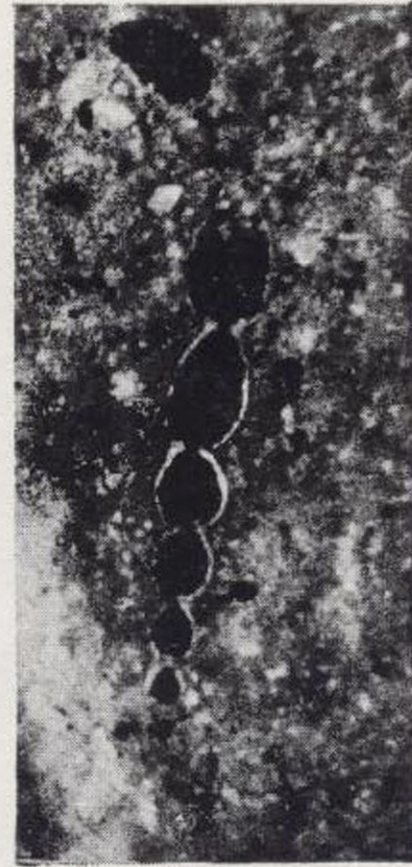
5.



6.



7.



8.



LÁMINA III

Secciones de algas de las margas azules atravesadas por la sonda.

Fig. 1.—Núcleo 26,  $\times 150$ .

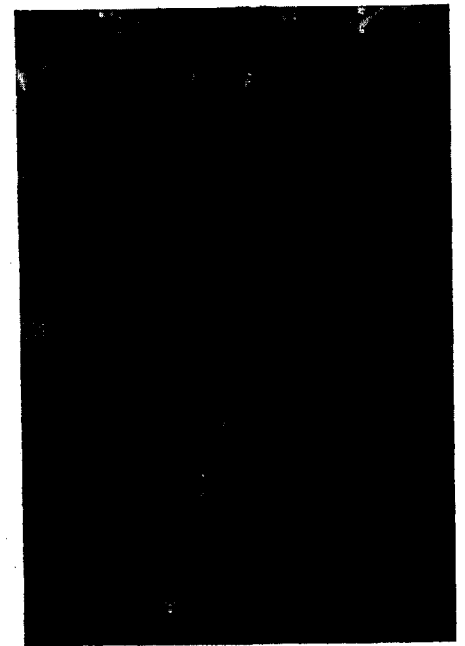
Fig. 2.—El mismo ejemplar visto a mayor aumento,  $\times 250$ .

Fig. 3.—Núcleo n. 5,  $\times 150$ .

Fig. 4.—Núcleo n. 23,  $\times 150$ . Explicación en el texto.



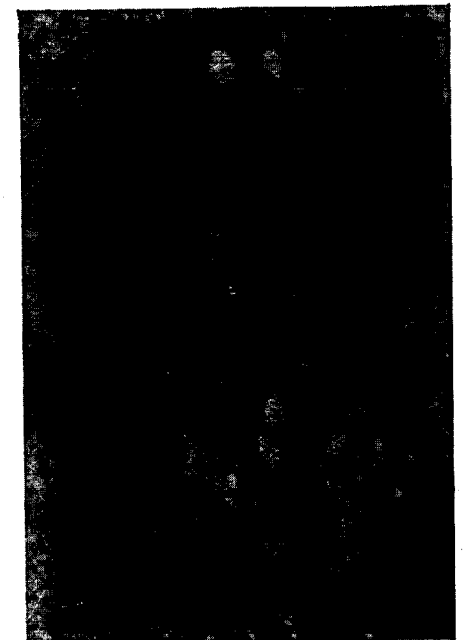
1.



2.

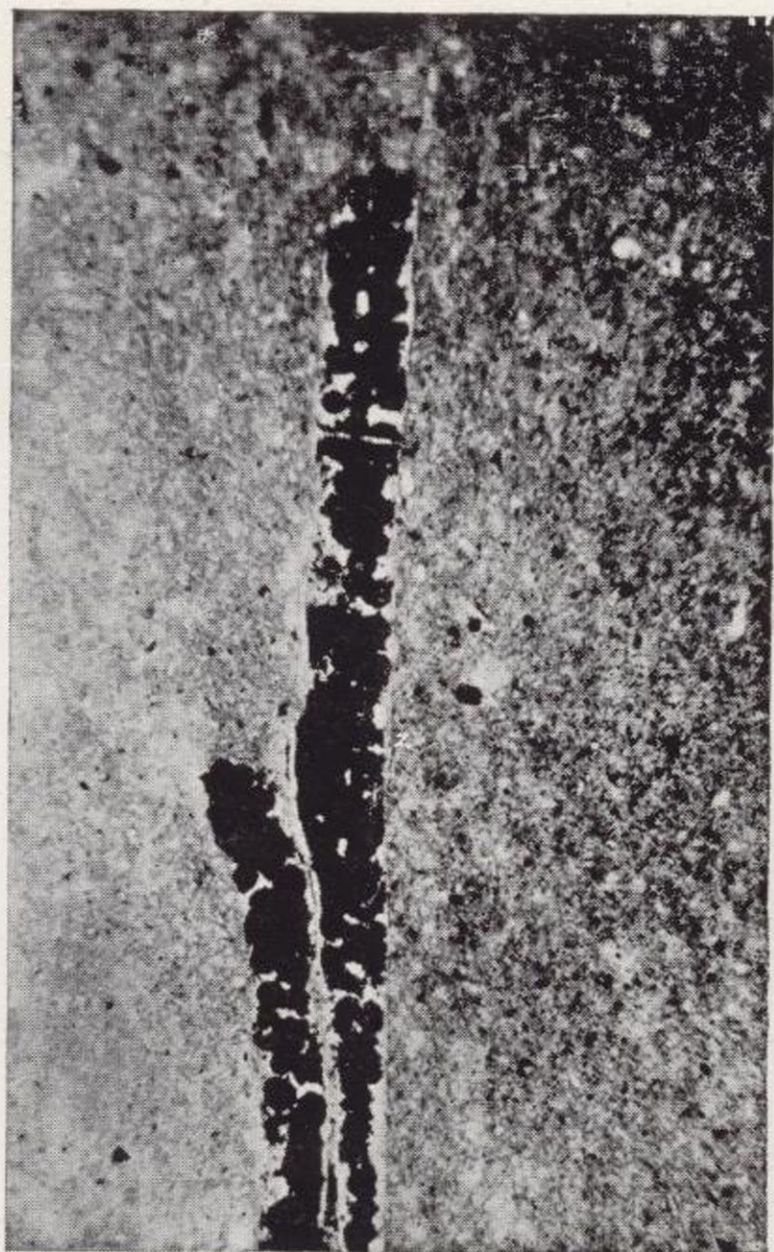


3.

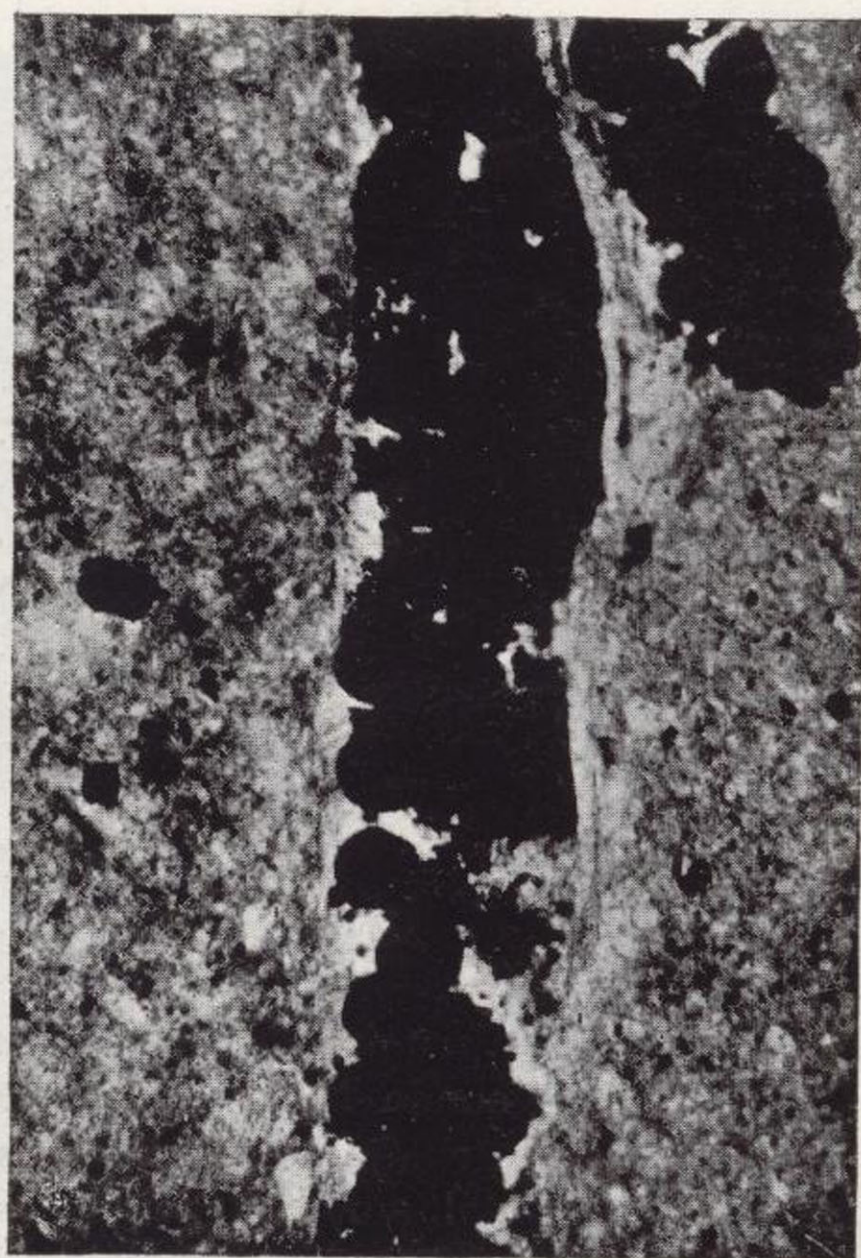


4.

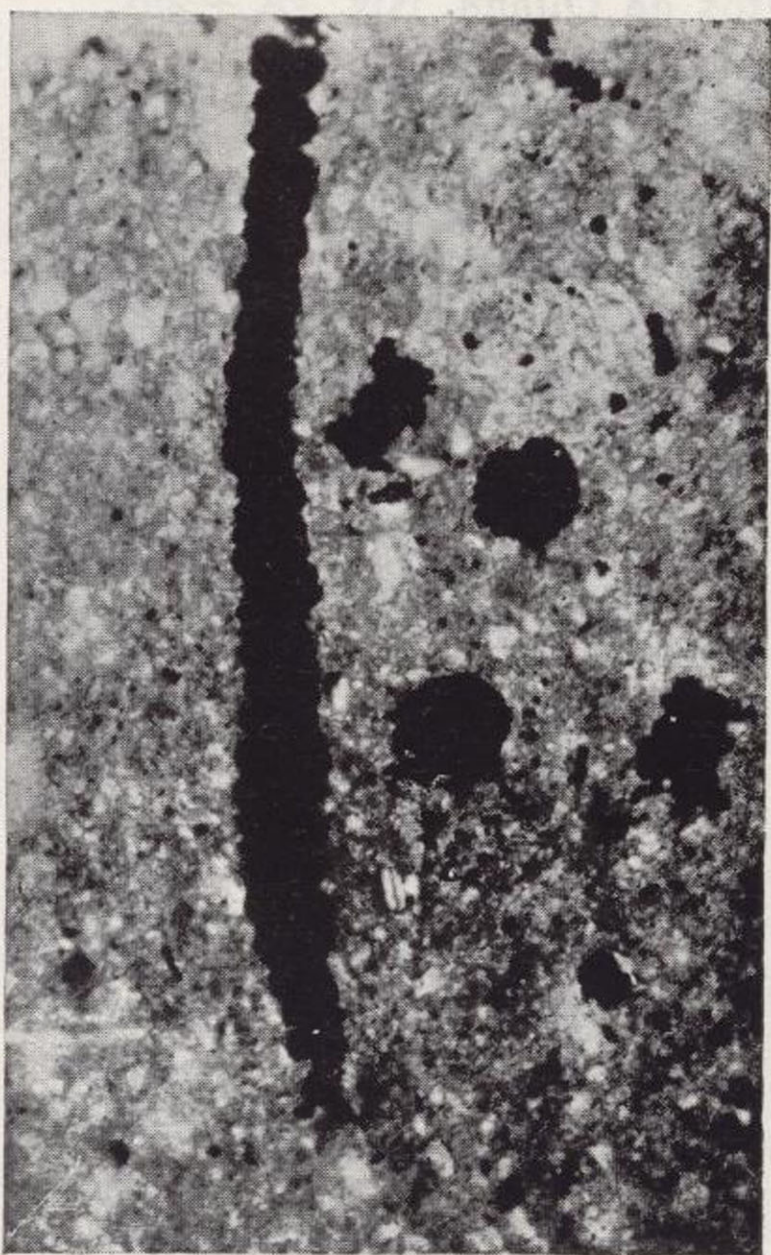




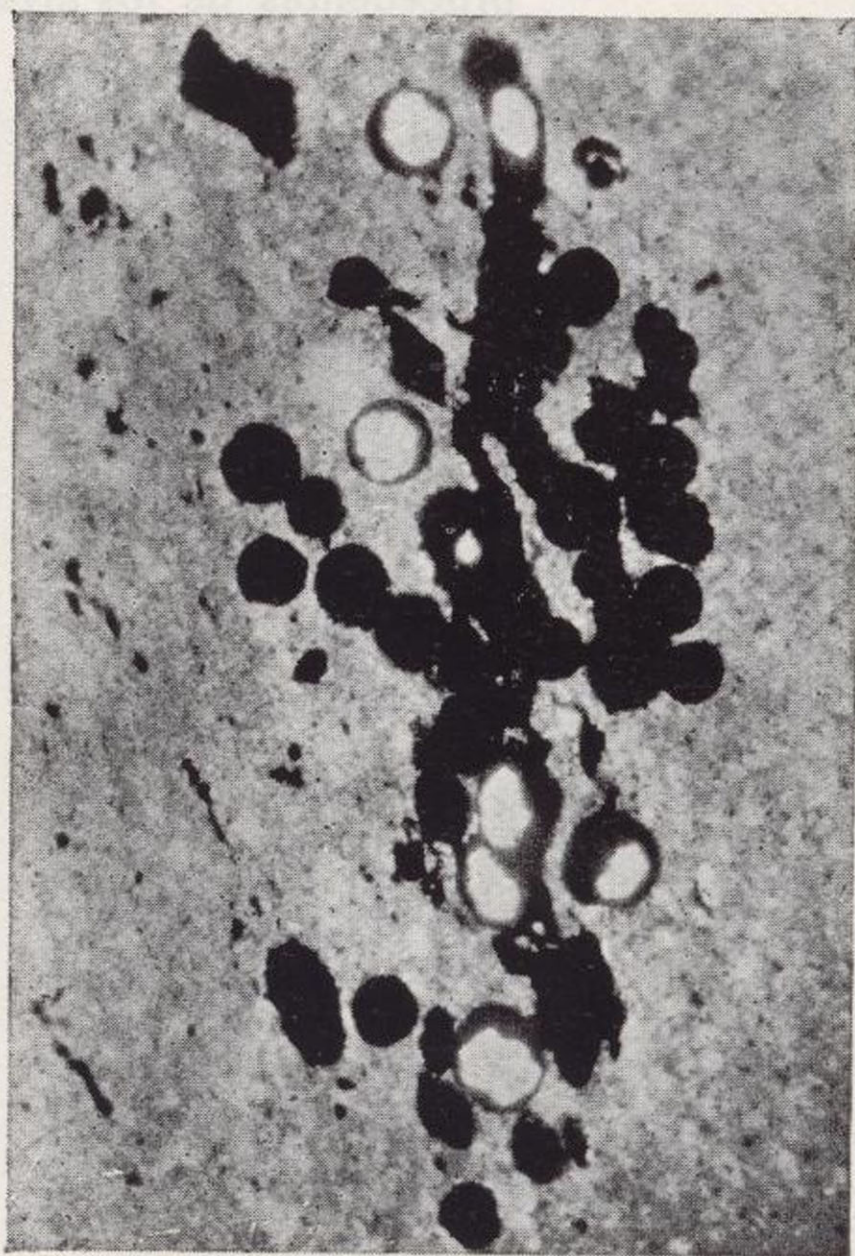
1.



2.



3.

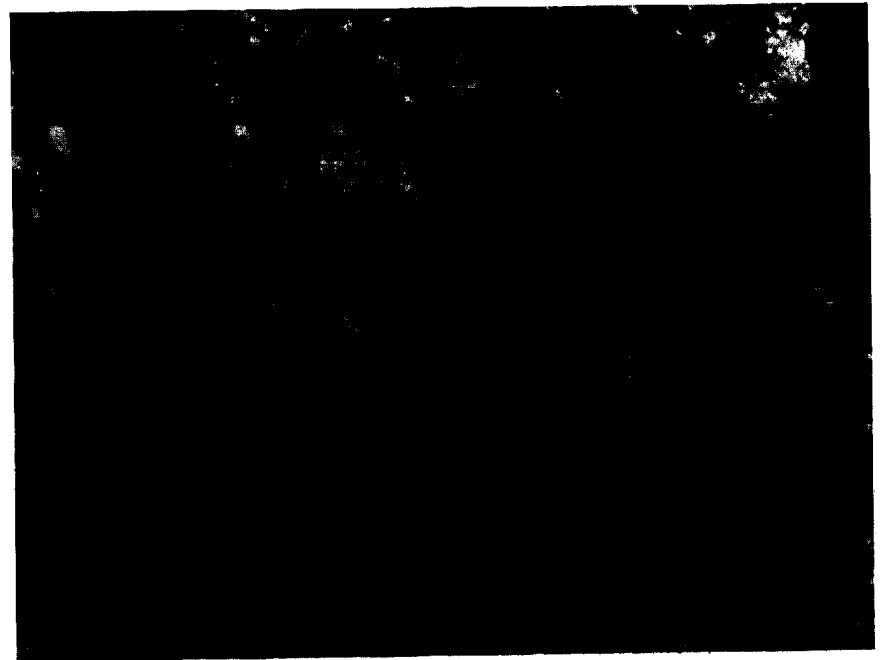


4.



## LÁMINA IV

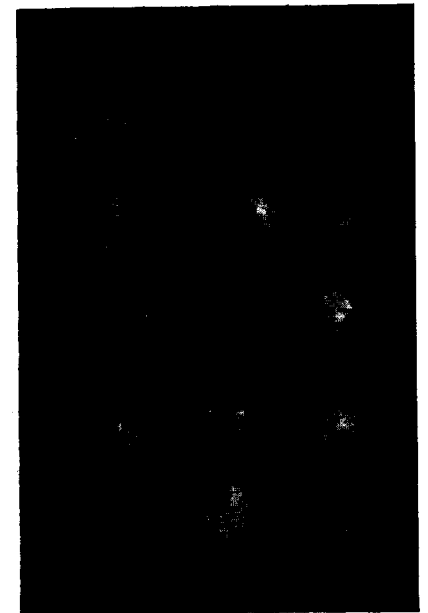
- Fig. 1.—Cristales de pirita en las margas azules atravesadas por la sonda. Núcleo n. 8,  $\times 200$ .
- Fig. 2.—Pirita juntamente con esporas (?) de algas de forma esferoidal, muy abundantes en determinados niveles. Núcleo n. 5,  $\times 200$ .
- Fig. 3.—*Cibicides pseudoungerianus* Cush., muy bien conservados, procedentes de los niveles altos de Oliana. Niv. «A + 20»,  $\times 25$ .



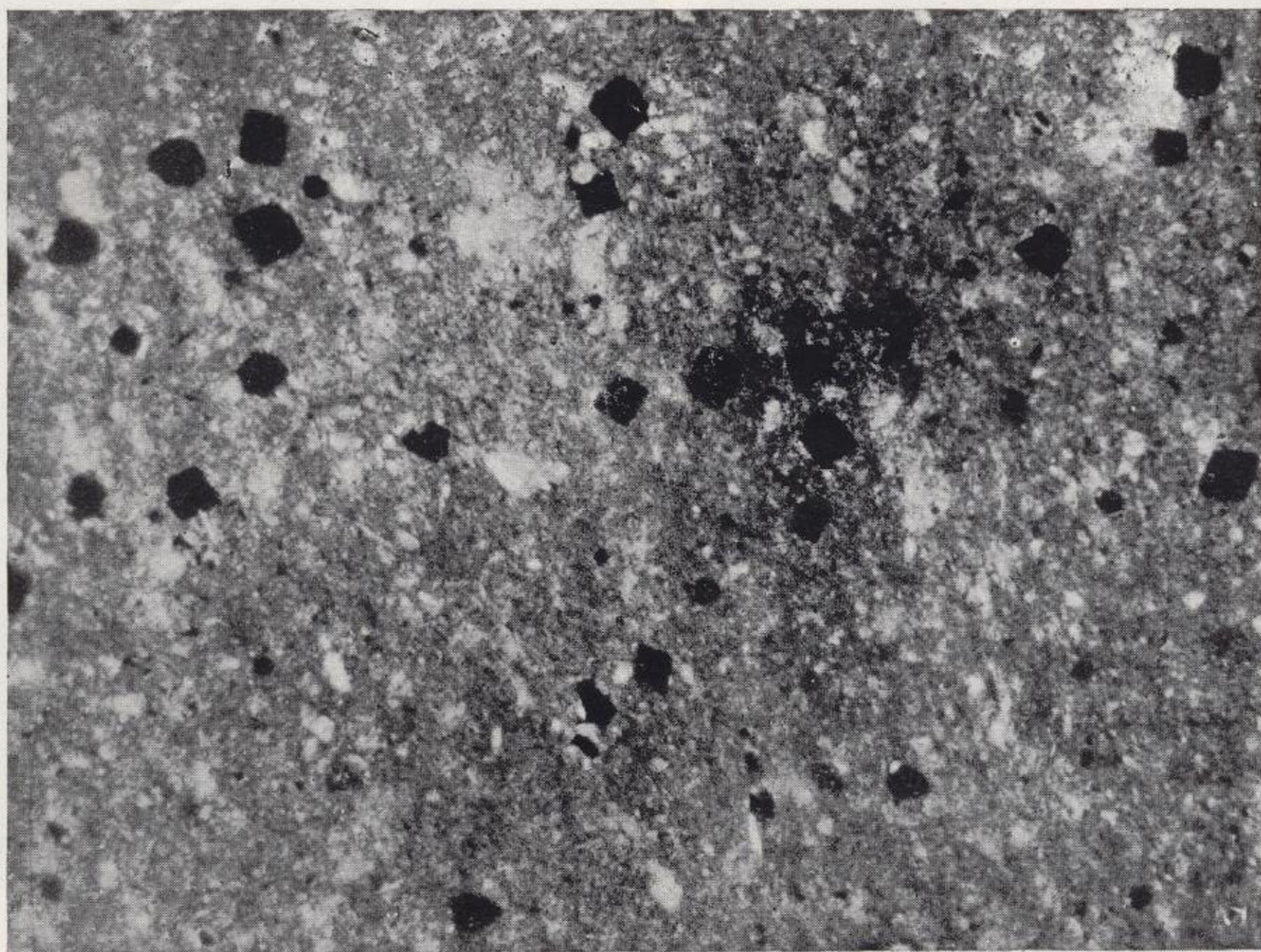
1.



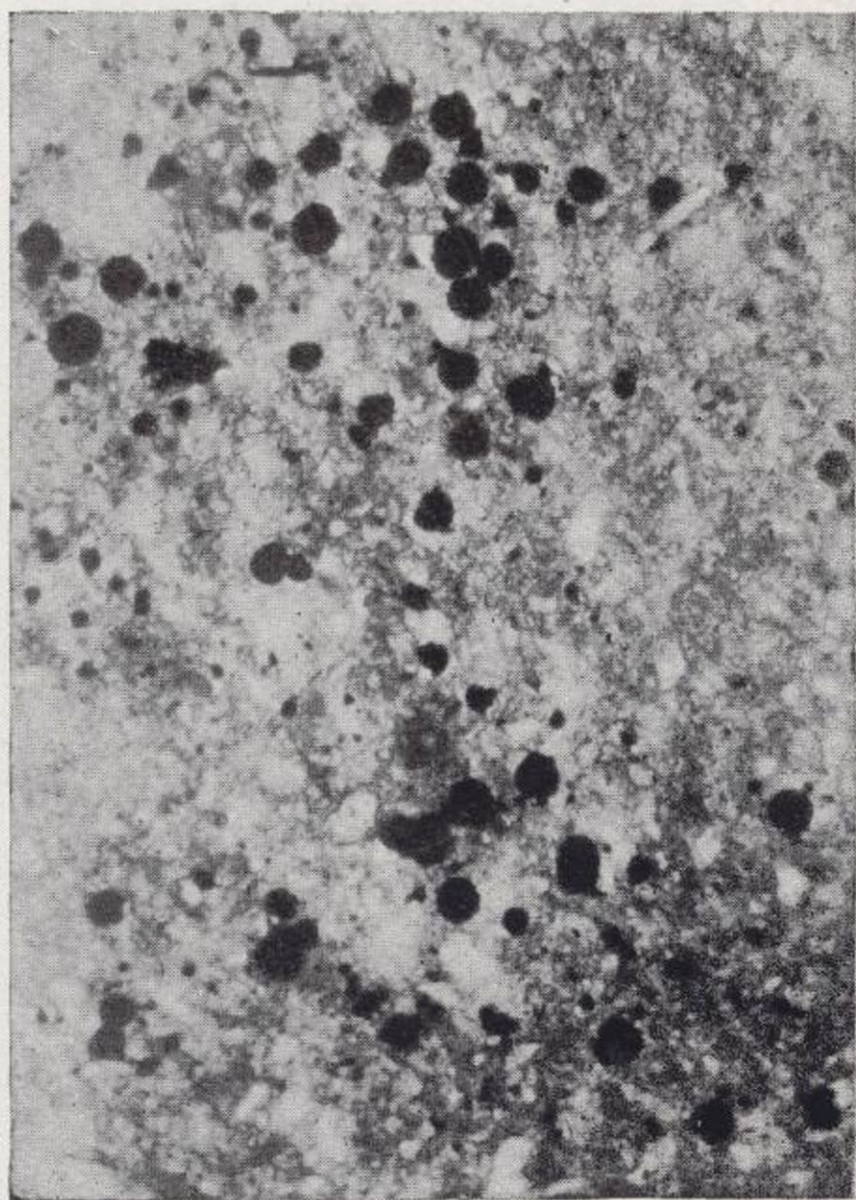
2.



3.



1.



2.

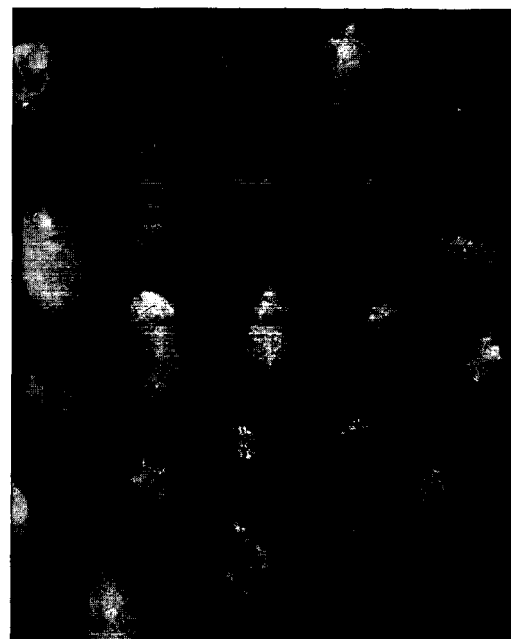


3.



## LÁMINA V

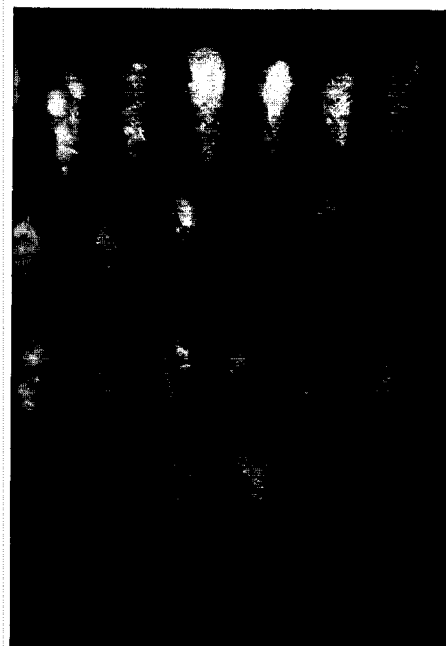
- Fig. 1. —Ejemplares de *Chilostomella cylindroides* Reuss, de los niveles altos de Oliana. Niv. «D».
- Fig. 2. —*Operculinoides ocalanus minor* Bark., de los niveles altos de Oliana. Niv. E.
- Fig. 3. —*Karriella halyardi* Cush., de los niveles altos de Oliana. Niv. «A + 20».
- Fig. 4. —*Cibicides pseudoungerianus* Cush., de los niveles altos de Oliana. Niv. «A + 20».
- Aumentos:  $\times 25$



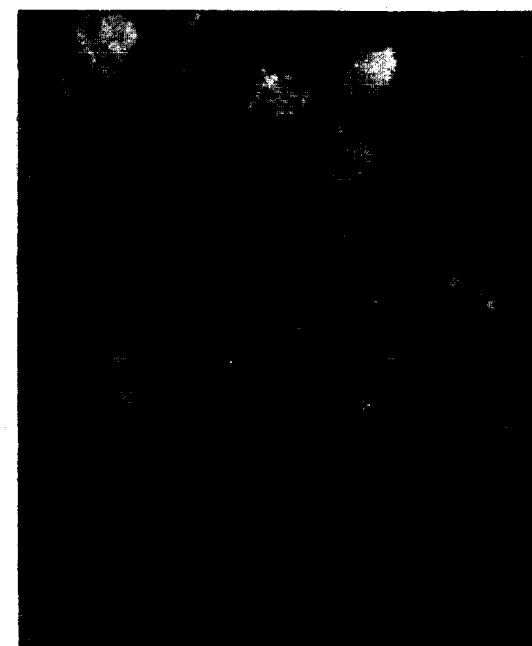
1.



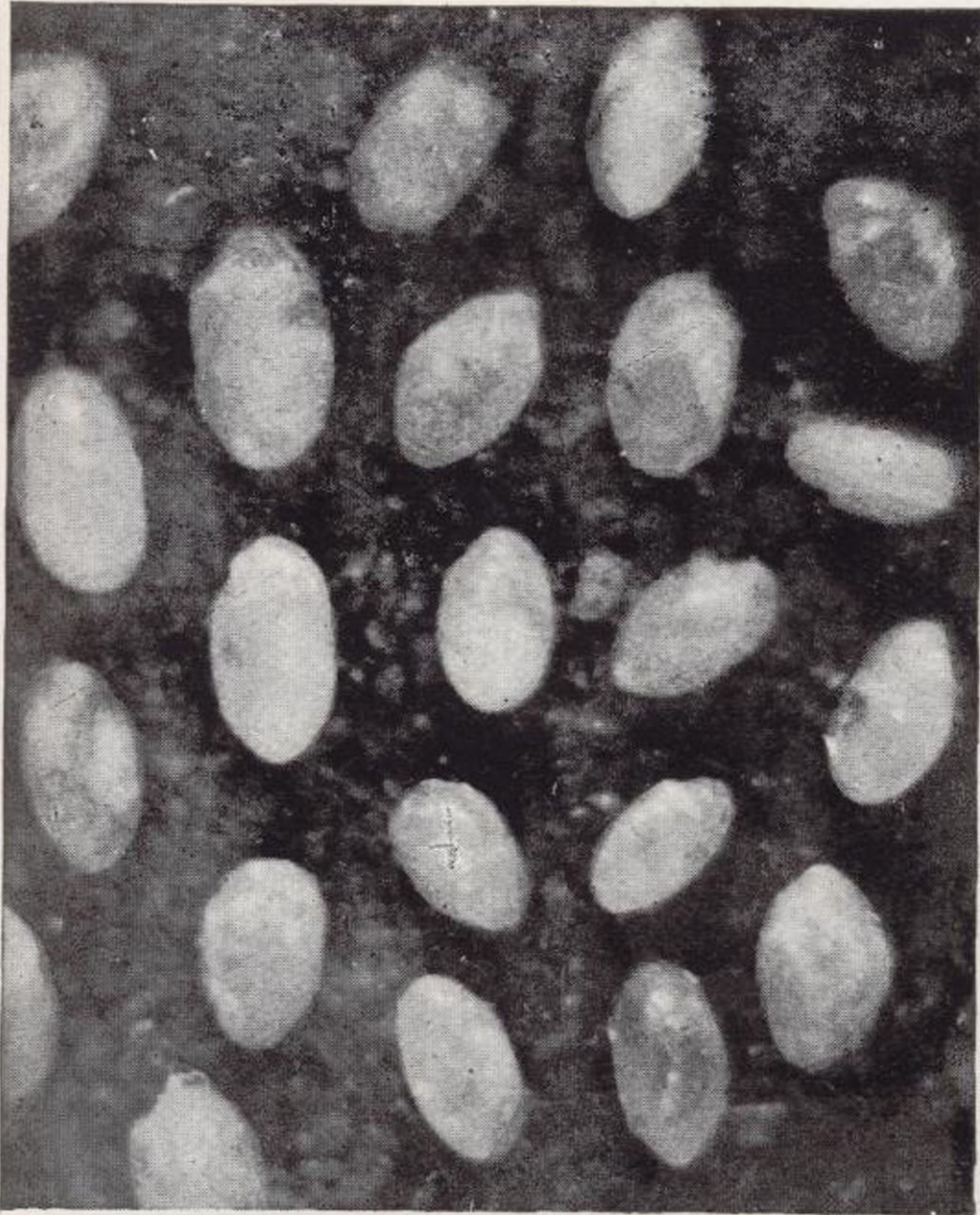
2.



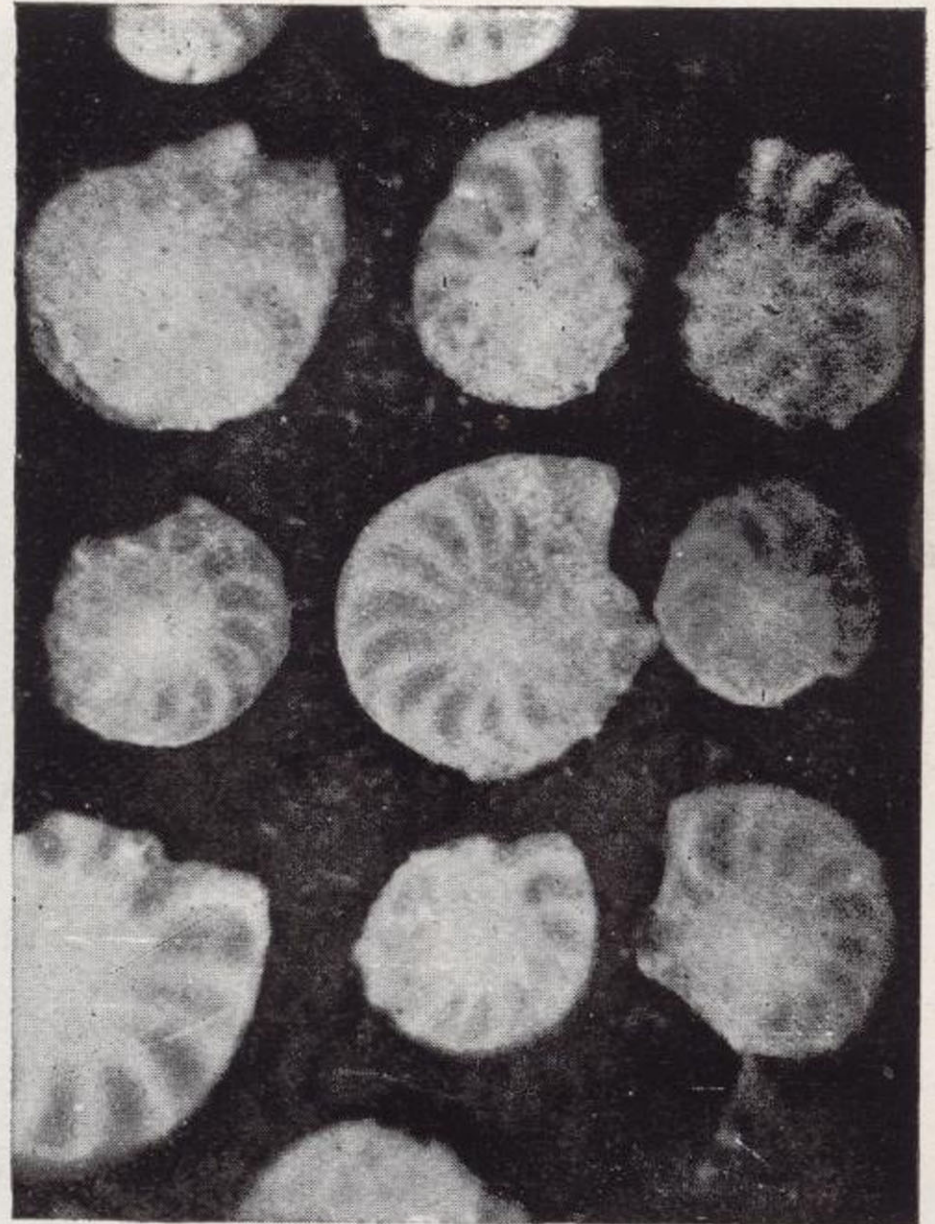
3.



4.



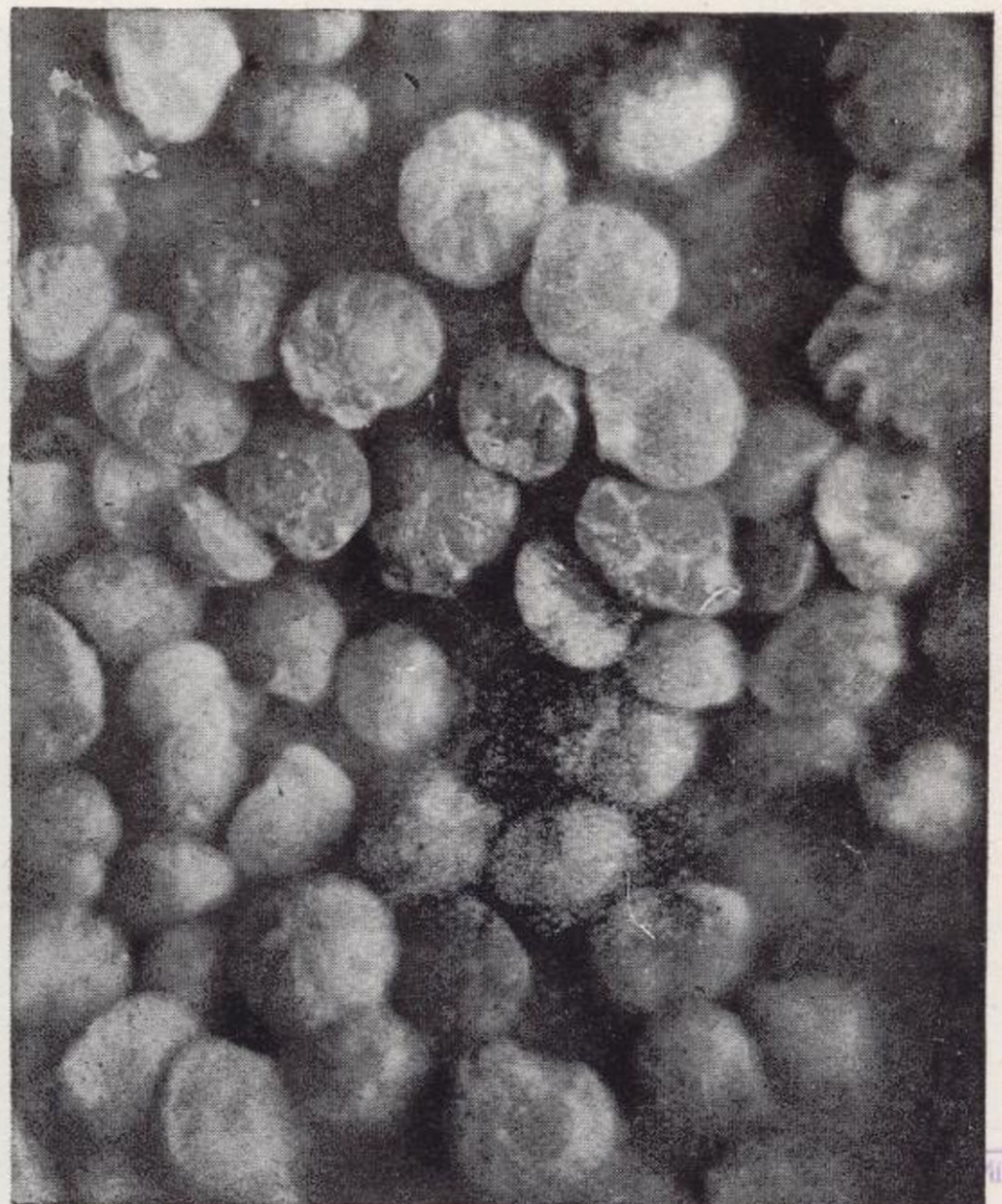
1.



2.



3.

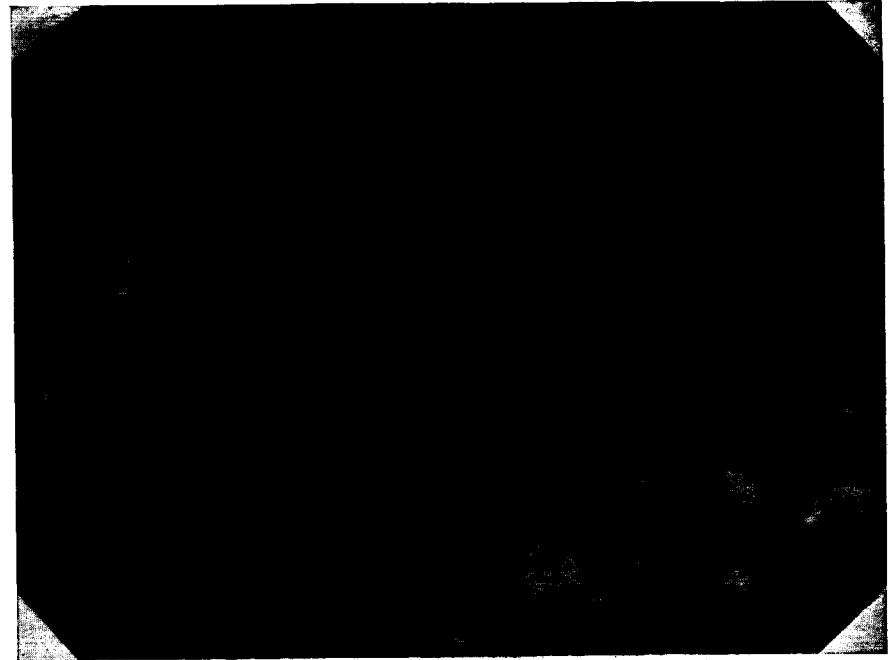


4.



LÁMINA VI

Fig. 1. — *Massilina decorata* Cush., núcleo n. 40 del sondeo de Oliana.  
Fig. 2. — *Marginulina behni* Reuss, niveles altos de Oliana. Niv. E.  
Aumentos:  $\times 25$ .



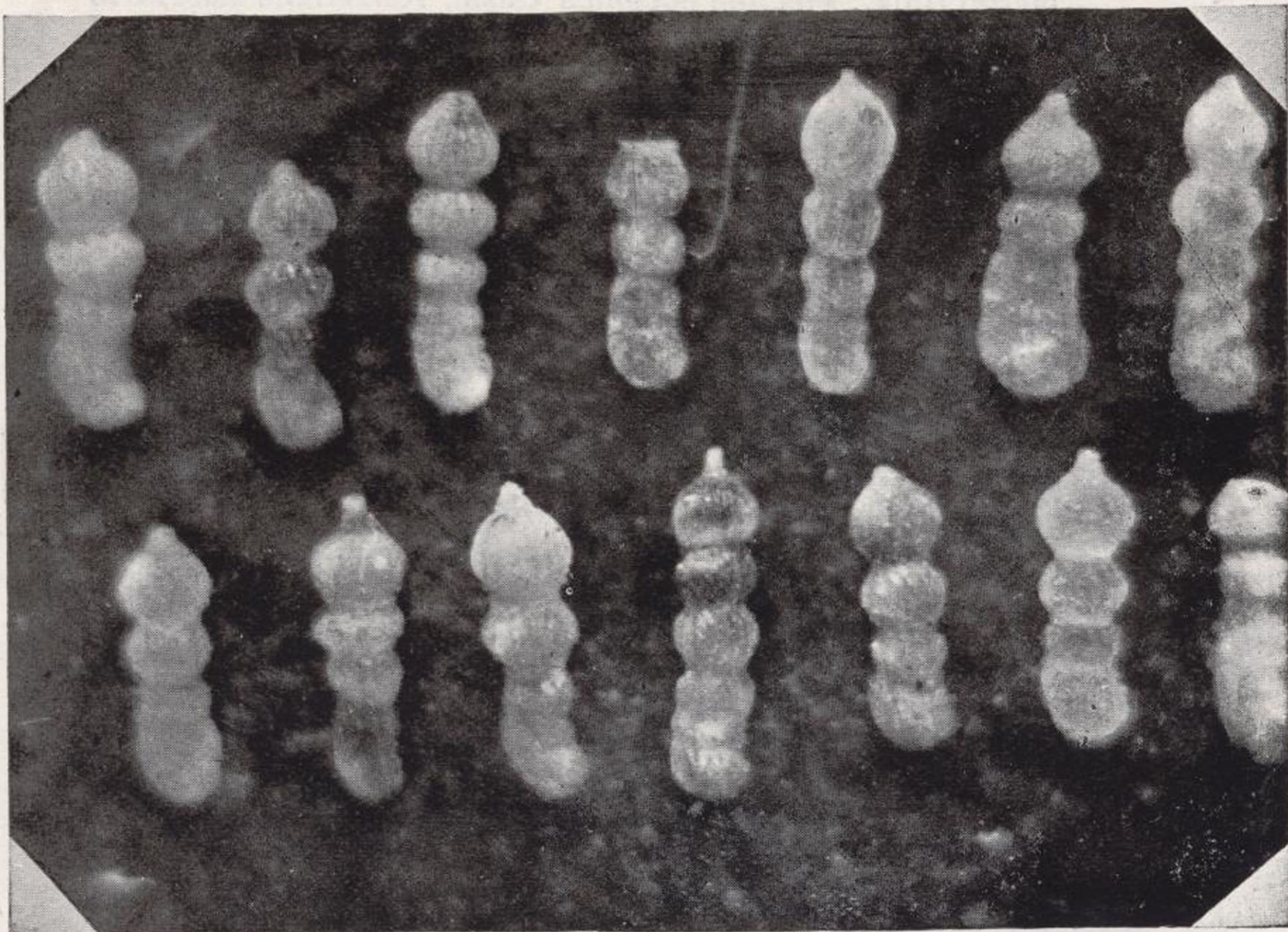
1.



2.



1.



2.

## LÁMINA VII

Fig. 1.—Los foraminíferos del núcleo más profundo del sondeo de Oliana. Se reconocen las siguientes especies:

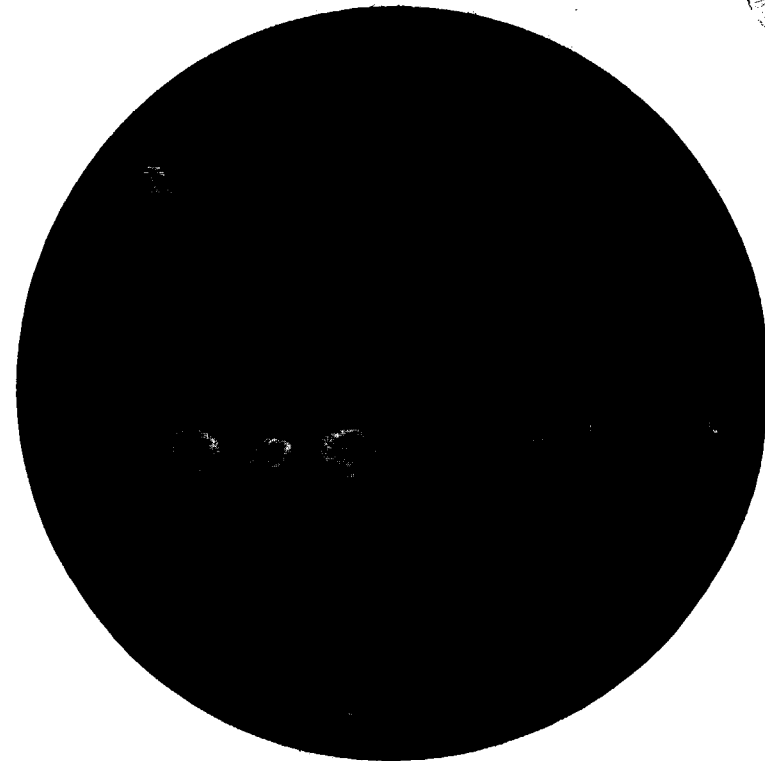
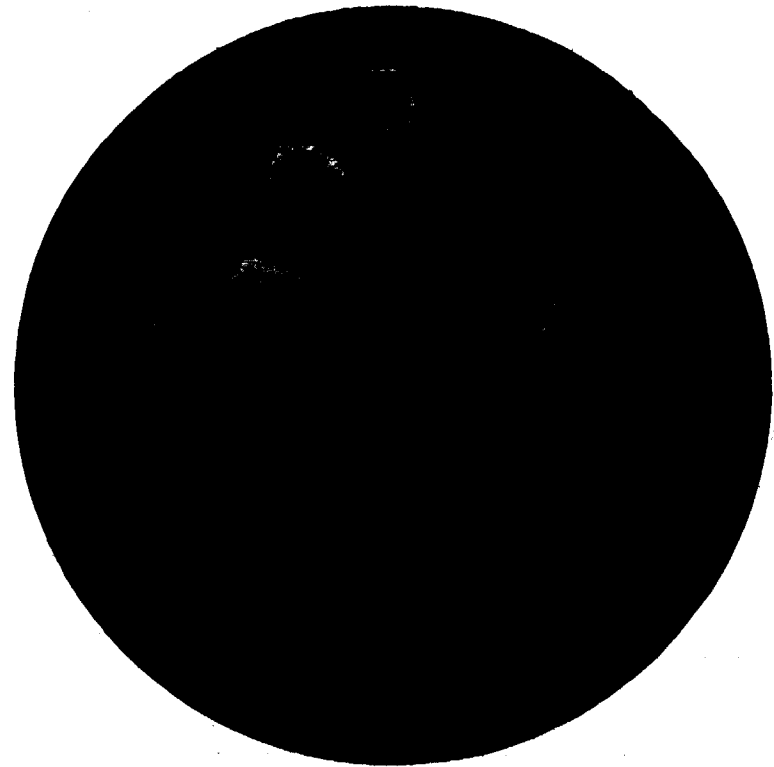
*Cibicides pseudoungerianus* Cush., *Vulvulina nummulina* (Gümb.), *Bulimina truncana* Gümb., *Gyroldina guayabalensis* Cole, *Massilina decorata* Cush., *Quinqueloculina ermani trigonostomea* Franz., *Haplophragmoides* sp. Núcleo n. 46.

Aumento:  $\times 45$ .

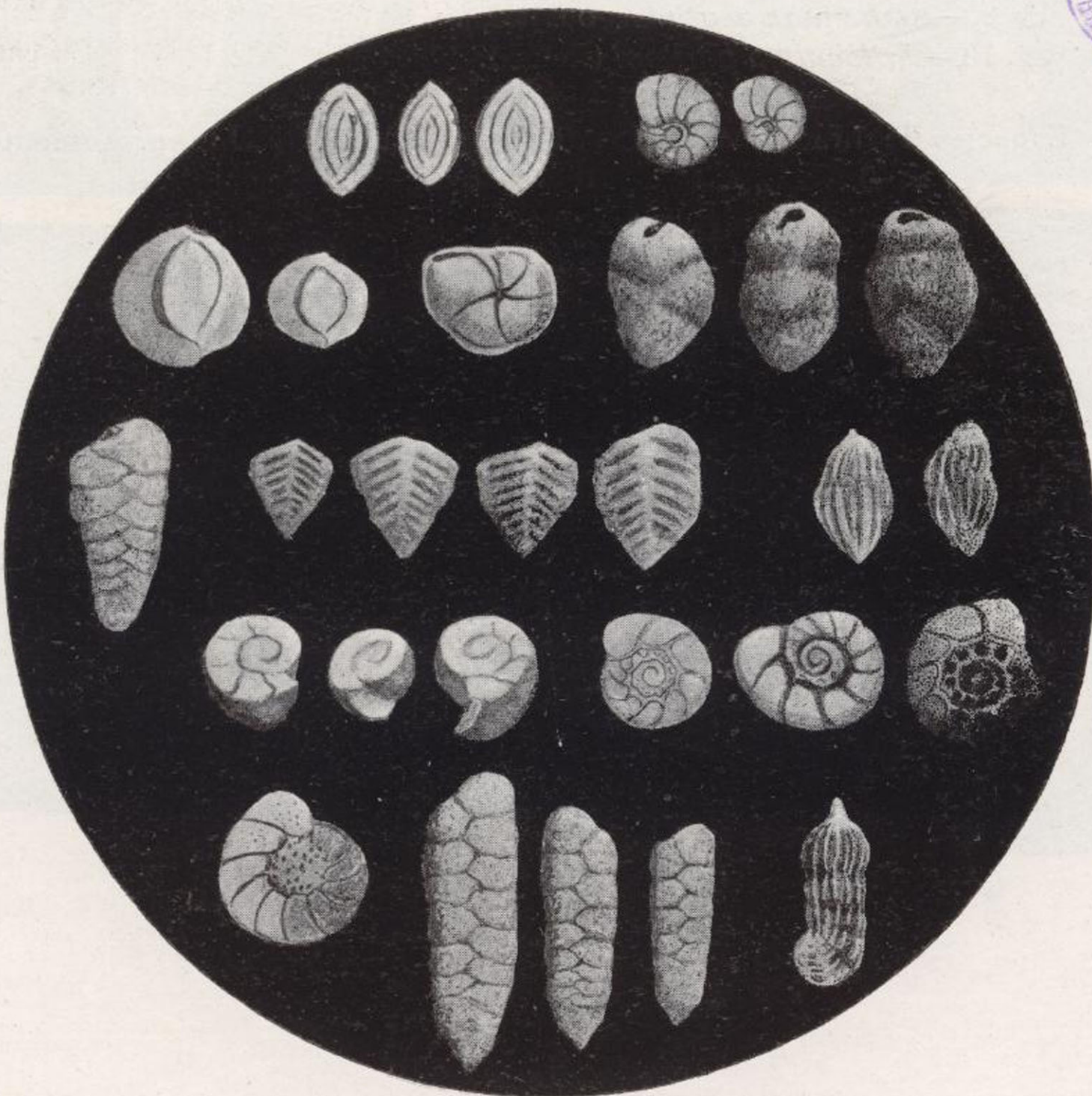
Fig. 2.—Los foraminíferos más frecuentes y constantes a lo largo del sondeo de Oliana (de izquierda a derecha y de arriba abajo):

*Massilina decorata* Cush., *Cibicides* cf. *sassei* Cole, *Quinqueloculina ermani trigonostomea* Franz., *Alabamina acutimargo* Halk., *Plectina eocenica* Cush., *Karrerella halkyardi* Cush., *Vulvulina nummulina* (Gümb.), *Uvigerina* sp., *Gyroldina guayabalensis* Cole, *Cibicides pseudoungerianus* Cush., (en diferentes estados de conservación), *Cibicides granosus* (Reuss), *Textularia recta* Cush., *Marginulina behmi* Reuss.

Aumento:  $\times 45$ .







## LÁMINA VIII

Fig. 1.—*Robulus* (de izquierda a derecha) *R. glaucina* Stache., *R. foliatus* Stache, *R. arcuata-striatus* Hantk., *R. alabamensis* Cush., *R. denticulifera bartoniana* Ruiz - Col., *R. alato-limbatus* (Gümb.), *R. limbosus* (Reuss).

Fig. 2.—*Bulimina truncana* Gümb.

Fig. 3.—*Bolivina reticulata* Hantk.

Fig. 4.—*Bolivina striato-carinata* Cush.

Fig. 5.—*Fronicularia* sp.

Fig. 6. *Nonion halkyardi* Cush.

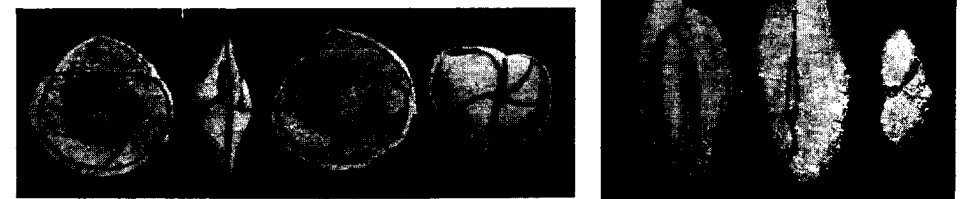
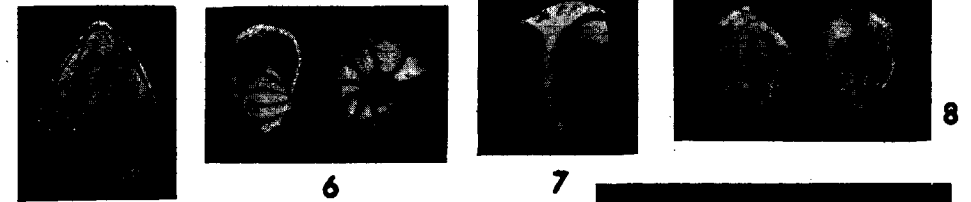
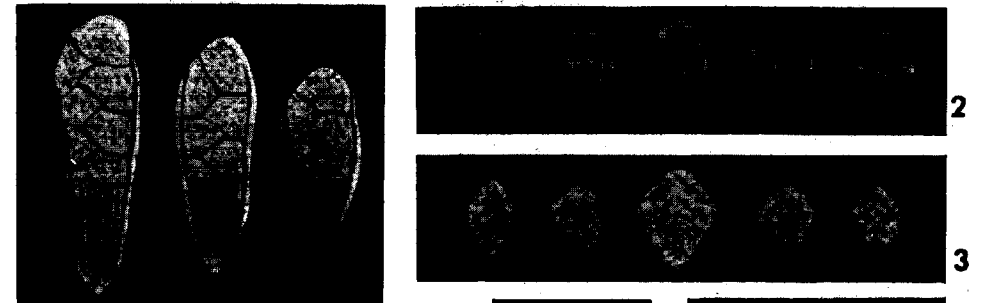
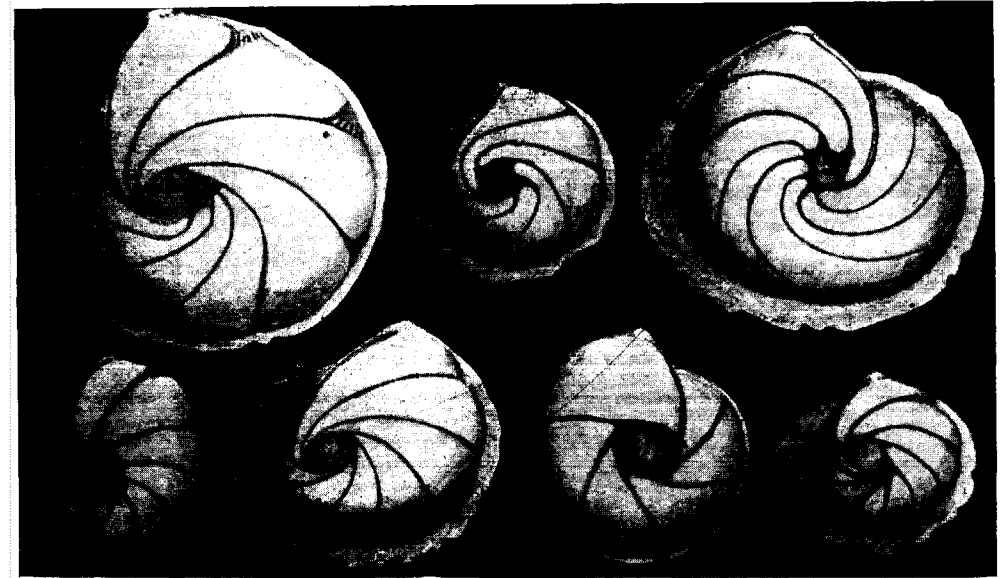
Fig. 7.—*Reussella oberburgensis* Freyer.

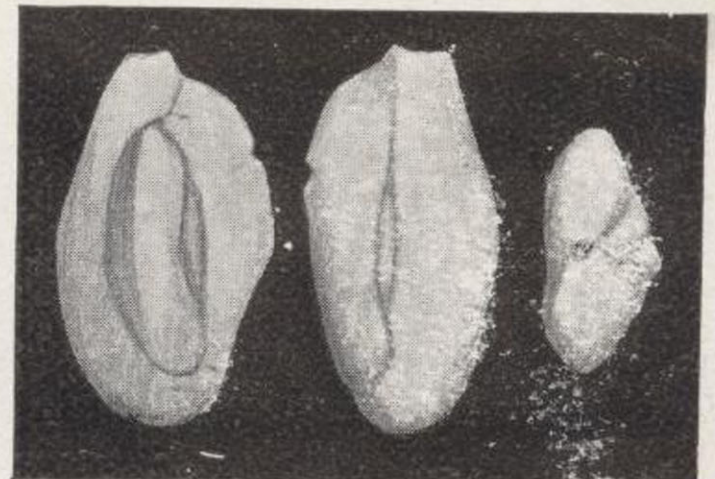
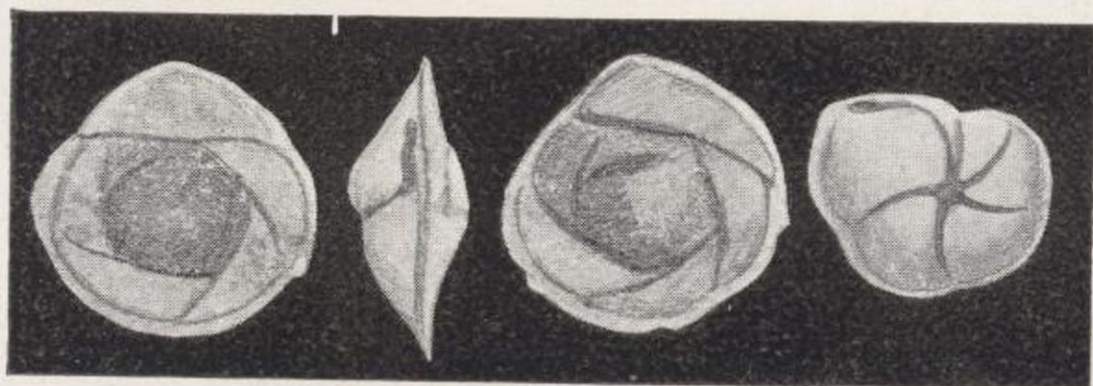
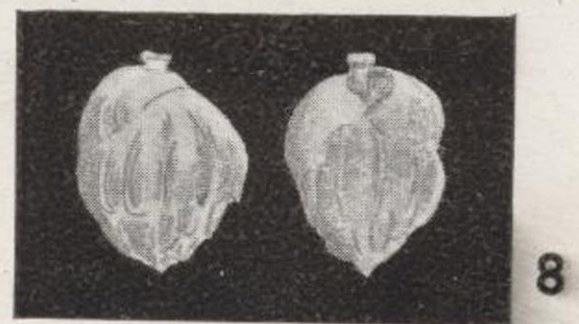
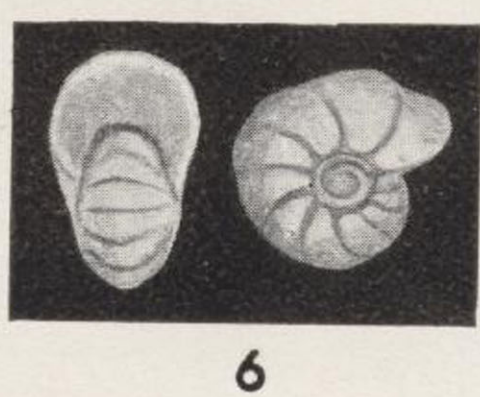
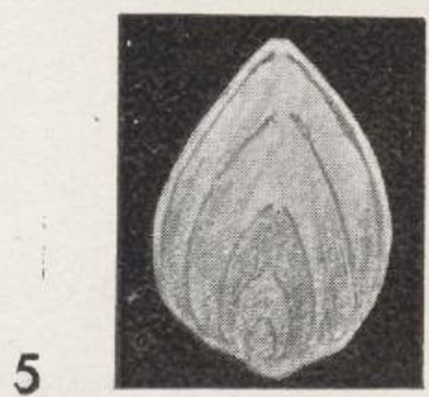
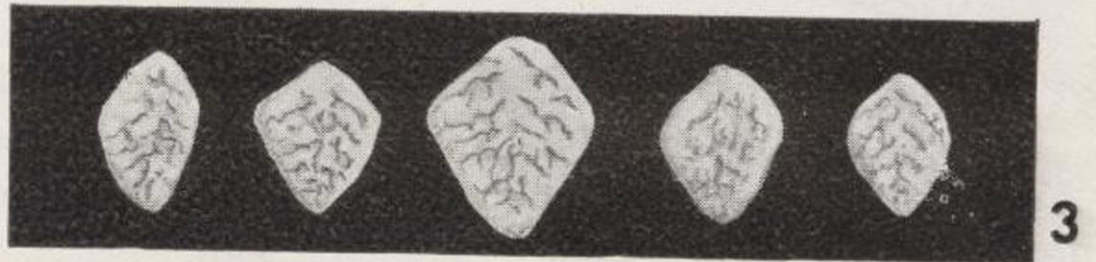
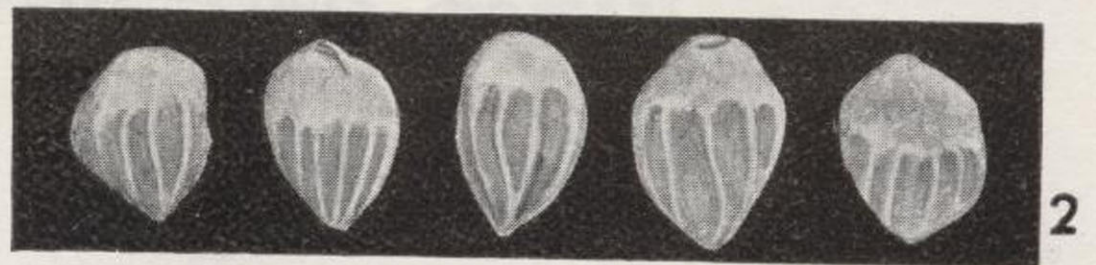
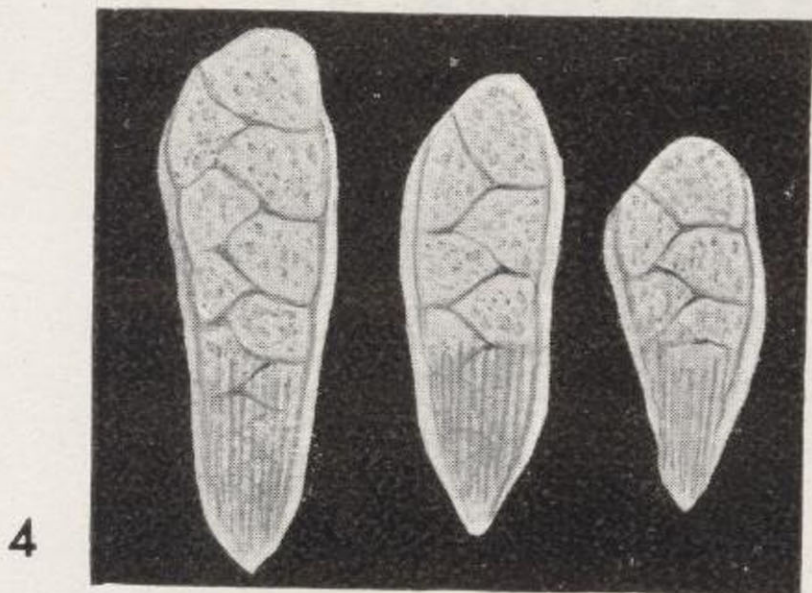
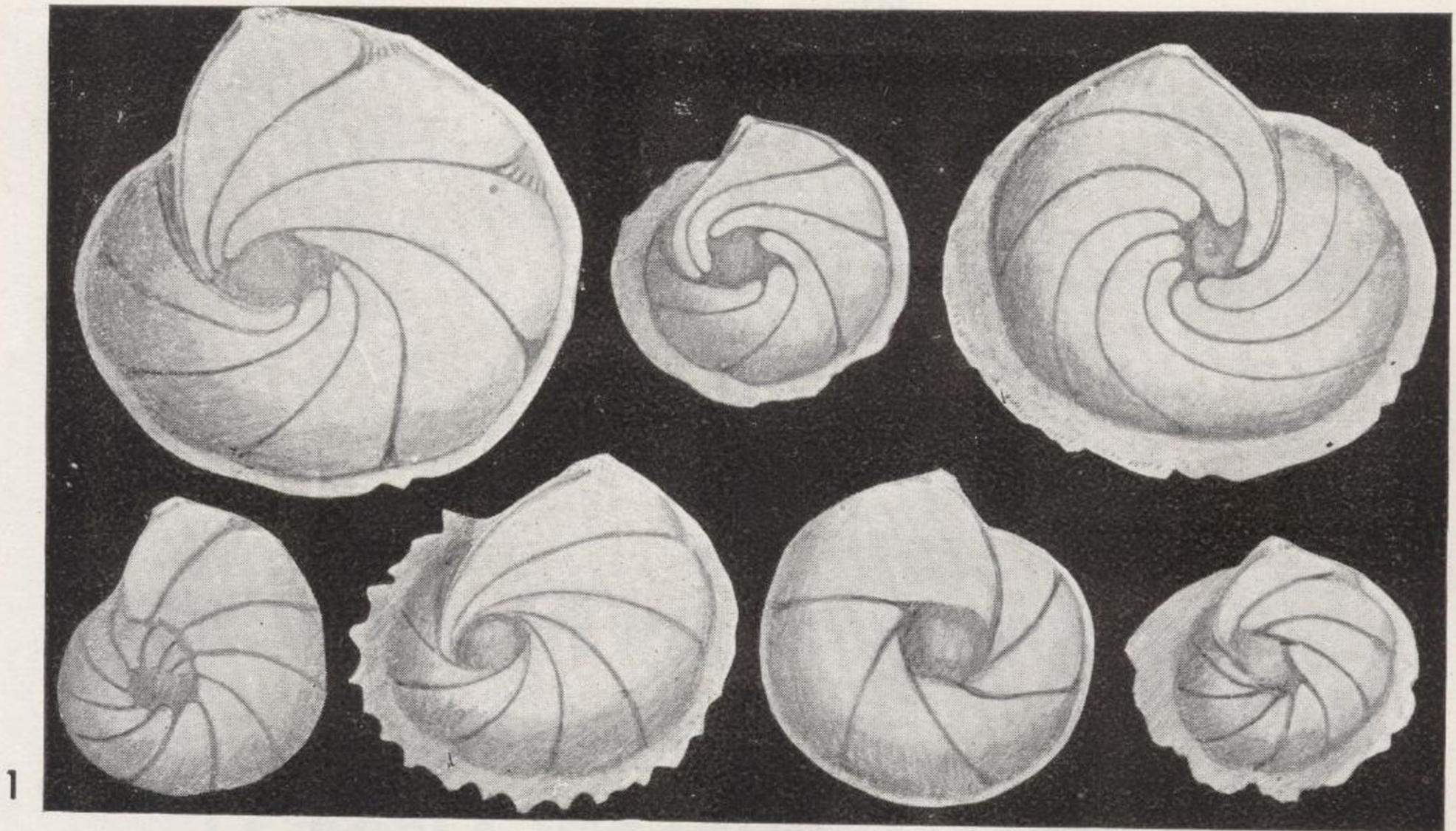
Fig. 8.—*Uvigerina* sp.

Fig. 9.—*Alabamina acutimargo* (Halk.).

Fig. 10.—*Triloculina philippi* (Reuss).

Especies de diferentes niveles de la perforación de Oliana. Aumento:  
× 45.





**DELIMITACIÓN DEL CARBONÍFERO  
DE LA ZONA  
LA ROBLA-VEGARIENZA (LEÓN)**

FOR

**ANTONIO ALMELA**  
INGENIERO DE MINAS

## SUMARIO

	<u>Páginas</u>
Preliminares.....	3
Estratigrafía.....	5
Cambriano.....	5
Siluriano.....	6
Devoniano.....	8
Carbonífero.....	14
Cretáceo.....	21
Oligoceno.....	22
Mioceno.....	22
Cuaternario.....	24
Tectónica.....	25
Los pliegues del devoniano.....	26
El siluriano entre los ríos Luna y Omañas.....	27
Las cuencas carboníferas.....	28
La transgresión cretácea.....	32
Movimientos intramiocenos.....	34
Conclusiones.....	37

## PRELIMINARES

Una vez terminado el estudio que, en el transcurso del año 1948, hice de la extensa zona reservada por el Estado en la provincia de León, para investigaciones carboníferas, la Superioridad ha considerado interesante ampliar el reconocimiento realizado, a áreas contiguas a esta reserva y, en su consecuencia, he tenido el honor de que se me encomendara la continuación de aquel estudio hacia el Oeste, a fin de delimitar la cuenca carbonífera de La Magdalena y otras próximas y conocer las posibilidades de ampliación de éstas, bajo los recubrimientos más modernos.

En su consecuencia, durante el año 1949, he realizado varias excursiones a la zona carbonífera de La Magdalena, estudiando, en líneas generales, la geología de la región comprendida entre La Robla y Vegarizna, desde el paralelo de Portillo de Luna hasta el de Las Omañas, aproximadamente. Las páginas que siguen, representan el resultado de estos reconocimientos y las deducciones que de los mismos se pueden extraer.

Los mapas geológicos hasta ahora aparecidos, tanto los del Instituto Geológico a escalas de 1:400.000 y 1:1.000.000, como el de la «Guía de los carbones de León y Palencia», señalan una extensa mancha de carbonífero,

que desde más arriba de La Magdalena, llega hasta la región de Astorga, sin solución de continuidad.

Como quiera que por los datos y referencias que poseía, esto no parecía ser cierto, he dedicado especialmente mi atención a delimitar, lo más exactamente posible, el carbonífero, a fin de poder deducir su posible prolongación bajo los recubrimientos más modernos.

El resultado ha sido que, por desgracia, el carbonífero, desde La Magdalena hasta San Martín de la Falamosa, ocupa estrechas fajas pellizcadas entre terrenos más antiguos y, por lo tanto, las probabilidades de ampliación de cuencas, son, por este lado, muy escasas.

Así pues, estimo recomendable proseguir este reconocimiento, tanto hacia el Sur como hacia el Oeste, a fin de fijar los verdaderos límites de la dilatada mancha carbonífera que señalan los mapas aludidos, y conocer con toda la aproximación que el estudio permita, las posibilidades carboníferas reales de la región.

El presente informe debe considerarse como continuación del dedicado al estudio de la reserva carbonífera de León y, por lo tanto, a él nos remitiremos para todo lo que se refiere a generalidades, historia y bibliografía. Además, como muchas formaciones de las que aquí encontramos son continuación de las allí estudiadas y tienen características muy semejantes, no me detendré mucho en la descripción de la estratigrafía, cuyo detalle puede verse en el trabajo aludido (\*).

(\*) Almela (A.): «Estudio geológico de la reserva carbonífera de León».—Bol. Inst. Geol. y Min. de España, tomo LXII. Madrid, 1949.

## ESTRATIGRAFÍA

En esta zona he encontrado las siguientes formaciones: cambriano, siluriano, devoniano, carbonífero, cretáceo, oligoceno, mioceno y cuaternario. De ellas, exceptuando el siluriano, carbonífero y cretáceo, las restantes tienen las características ya conocidas; pero los terrenos citados presentan algunas particularidades interesantes, en especial siluriano y carbonífero, que plantean problemas que, por ahora, han quedado sin aclarar.

El cretáceo no ofrece más particularidad que la desaparición de los niveles calizos y margosos, ya puesta de manifiesto en el anterior estudio.

### Cambriano

La carretera de La Magdalena a Belmonte corta, antes de llegar a Barrios de Luna, una faja cambriana estrecha, compuesta de calizas cristalinas amarillas y bien estratificadas, con un nivel intercalado de calizas arcillosas de color rojo, de aspecto idéntico al del cambriano de Montuerto y Cerecedo. Su potencia es de unos 100 m. y las

capas están verticales. No he visto las pizarrillas verdes que aparecen en Montuerto.

Esta faja se dirige hacia el SE., corta el camino de Mora a Sagüera, al norte del primer pueblo, y se va adelgazando para desaparecer un kilómetro al SE. de aquel camino.

### Siluriano

A un kilómetro al este de Otero de Dueñas, en el desmonte que hay en la bifurcación de las carreteras de La Robla y León, se puede observar un pequeño retazo de pizarra carbonífera con fósiles, discordante con unas pizarras de color grisáceo o pardoverdoso, satinadas y sin fósiles, que se extienden hacia el Sur a ambos lados del río Luna.

Es ésta una formación de aspecto diferente a todo lo que hasta ahora venimos viendo, sin duda, anterior al carbonífero, y sin que se la pueda relacionar con el devoniano que se desarrolla más al Norte, ni con el cambriano que aparece a lo largo de la cordillera en varias fajas poco potentes.

Así pues, aunque no he logrado encontrar en ella ningún resto fósil, es forzoso atribuirle al siluriano, cosa que encaja bien con el aspecto general de las pizarras.

Éstas se extienden de una manera notable hacia el Oeste y puede decirse que en la zona recorrida constituyen la casi totalidad del terreno al oeste del río Luna, pues sólo unas estrechas fajas de carbonífero y cretáceo vienen a interrumpir de vez en cuando la monotonía de esta formación.

Sus capas están muy trastornadas, y casi constantemente aparecen próximas a la vertical y arrumbadas E.-O. o giradas algo hacia el NO. Esto indica que deben formar una multitud de pliegues isoclinales, muy difíciles de descubrir, aun cuando se estudie el terreno con mucho mayor detenimiento.

Estas pizarras que, como ya se ha dicho, son de una coloración grisácea o pardusca, tienen infinidad de filoncillos de cuarzo blanco, que constantemente se encuentra diseminado por el suelo.

Dentro de su monotonía, he observado algunas particularidades interesantes que a continuación señalo.

Subiendo desde el río Luna al alto del Corollo, caminando hacia Villayuste, las pizarras de color pardo oscuro están poco trastornadas y buzan con bastante regularidad de 30° a 45° NE. Al llegar casi al alto, se encuentran concordantes unos nivelitos de pudingulla de elementos de cuarzo, hasta de 5 mm.

Por debajo aparecen pizarras de tonos más claros y capas arenosas amarillas, que parecen constituir un nivel inferior.

Al sur de Quintanilla, en contacto con el carbonífero, asoman, también, pizarrillas y niveles arenosos más claros.

En algunos sitios se encuentra intercalado en las pizarras algún banco de cuarcitas, pero inmediatamente al sur de Adrados de Ordás, aflora un nivel de cuarcitas de color claro y posición vertical, que se puede seguir durante bastantes kilómetros, en los altos de la ladera izquierda del arroyo Valdesamario, al norte del pueblo de este mismo nombre y de Ponjos. Este nivel no parece repetirse más al Norte, lo que dificulta la determinación de los sucesivos pliegues que es forzoso existan.

Además de esta extensa mancha siluriana, existen unos

niveles de cuarcitas y pizarras (a las que Compte atribuye, en parte, esta misma edad), que la carretera de Barrios de Luna corta al norte de este pueblo, entre el cambriano y las calizas claramente devonianas.

A 500 m., aguas arriba de Barrios de Luna, la presa, actualmente en construcción, apoya sus estribos en una angostura producida por un nivel de cuarcitas de color blanquecino, en bancos gruesos, que cruzan el río en posición vertical y con unos 150 m. de potencia.

Este paquete se continúa hacia el SE., y por su gran dureza forma una serie de crestones que destacan netamente sobre el terreno; pasa a cosa de 1.500 m. al norte de Mora y cruza también el camino de Portilla, continuando con esta misma dirección hasta encontrar el carbonífero, al norte de Otero de Dueñas.

En Barrios, al norte de las cuarcitas, existen pizarras algo ampelíticas y negras, con graptolitos que indican una edad gotlandiense, pero, en la parte por mí estudiada, no he visto estas pizarras, tal vez por estar ocultas bajo los derrubios. En todo caso, parece que las cuarcitas blanquecinas y los niveles blandos inmediatos, representan al siluriano, si bien tiene éste un aspecto bastante diferente del que ofrece más al Sur, constituido, casi exclusivamente, por pizarras pardas o grises, satinadas.

### Devoniano

Voy a ocuparme, en primer lugar, de una notable formación, de edad incierta, que aparece entre el siluriano, en un largo trecho en la zona de Manzanedo.

Desde un kilómetro al SE. de Sosas del Cumbrial, hasta el Cuerno de Bobia, se observa una serie de afloramientos

alineados, de conglomerados, de mayor o menor amplitud, al parecer subordinados a una faja carbonífera, inmediata al Norte, pero independiente de ella, que plantean un problema que hasta el momento no he sabido resolver.

En una rápida visita a Sosas del Cumbrial, que hice acompañando a D. Primitivo Hernández Sampelayo, vimos, por primera vez, estos curiosos conglomerados, relacionándolos con las pizarras y areniscas carboníferas de Sosas del Cumbrial y atribuyéndolos, en consecuencia, esta misma edad (\*). Pero reconocido ahora de nuevo el terreno, resulta que no están en contacto con las pizarras netamente carboníferas, con lo que su atribución a este terreno se hace muy dudosa.

El camino de Vegarienta a Sosas del Cumbrial, no corta esta formación, y en contacto con las pizarras silurianas se encuentra el carbonífero fosilífero, pero desde un kilómetro al SE. del pueblo, hasta las primeras casas de Arienza, aparece el lentejón más importante que he visto de estos conglomerados.

Están constituidos por cantos bien rodados de tamaño medio, de cuarzo y cuarcitas; son altamente ferruginosos y su color es rojo sangre o rojo oscuro, destacándose muy bien de las pizarras pardas silurianas. Van acompañados de algunas pizarras satinadas, también de color rojo intenso, que pueden verse al sur de Arienza, en la carretera. Las capas están muy trastornadas, y en muchos sitios, al oeste de Manzanedo, se las ve verticales.

Este lentejón puede estudiarse bien en Manzanedo y sus alrededores, en donde tiene su máxima anchura, que

(\*) «Mancha estefaniense de Sosas del Cumbrial», P. H. Sampelayo y A. Almela. Notas y Comunicaciones del I. G. M. de España, n.º 9. Madrid, 1942.



llega a 300 metros. Más al Este se va adelgazando y, pasado Arienza, desaparece para presentarse de nuevo, en el cementerio de La Urz, las pizarras de color rojo sangre, en un reducido espacio.

Finalmente, los cerros que hay al NO. del Cuerno son, al parecer, de estos mismos conglomerados, y el collado que los separa de aquel monte, aunque en él no se ven los estratos, está teñido de un color rojo intenso que indica que se encuentra allí la misma formación.

Este curioso nivel rojo está en contacto por el Sur con las pizarras pardas silurianas, y al Norte se repiten pizarras de análogo aspecto, en una faja que con un espesor de 200 a 400 m. se interpone entre los conglomerados rojos y el carbonífero indudable. Por excepción, en Cornombre y al NE. de Villayuste, en contacto por el Sur con los conglomerados carboníferos, se encuentra un lentejón de pizarras satinadas color rojo oscuro, de aspecto idéntico a las de Arienza y La Urz. Parece que entre ambas formaciones existe discordancia y también una zona milonitizada.

Como se dice antes, D. Primitivo H. Sampelayo y yo, atribuimos este nivel rojo al carbonífero, pues nos pareció que estaba en contacto con las pizarras fosilíferas de Sosas del Cumbrial, pero, en realidad, no tienen estos conglomerados semejanza ninguna con los de la potente masa que aparece inmediatamente al Norte, en el Alto del Rebollo y el vértice Sangonera, indudablemente carboníferos. En efecto, estos últimos son siempre de color gris o amarillento, de canto más grueso en general y con grandes bolos de cuarcita.

Como tampoco están en contacto con el carbonífero, no existe argumento litológico ni estratigráfico convincente para atribuir al carbonífero esta formación roja.

Lo mismo podemos decir respecto al devoniano y cámbrico; ni hay afloramientos próximos a los que poderla referir, ni se parece litológicamente a ninguno de los niveles conocidos de estos terrenos.

Como, por otra parte, el aspecto de estos estratos rojos es innegablemente paleozoico, lo atribuyo provisionalmente al nivel de tránsito del siluriano al devoniano, que aparece pellizcado entre los estratos de aquél, aun cuando tampoco tiene semejanza con las distintas rocas de este terreno que se encuentran en la comarca.

A título de conjetura apunto la idea de que este nivel ferruginoso se corresponda con alguno de los señalados en el siluriano o devoniano. Por ejemplo, pudiera ser que las llamadas areniscas rojas de San Pedro, que, según Compte, constituyen el tránsito del siluriano al devoniano y que pasan al norte de Barrios de Luna, continuando hacia el SE. en ancha faja que corre al sur de Portilla de Luna, adquirieran una facies más litoral y detrítica más al Sur y tuvieran su equivalente en los conglomerados rojos de Manzanedo.

En apoyo de esta suposición puede aducirse, que en las areniscas rojas que aparecen junto a la carretera de La Magdalena a Belmonte, entre los hitos de los Km. 4 y 5, y que creo son las mismas de Barrios de Luna, que se repiten aquí por efecto de un sinclinal vergente al Sur, se encuentra alguna pudingilla de cantos de cuarzo poco rodados, hasta de un centímetro. Ésta existe también a media ladera poco más al Sur, frente al hito del Km. 3.

La faja de pizarras que se interponen entre los conglomerados rojos y el carbonífero, pensé, en un principio, que fuese siluriana, pues muchas veces su aspecto no difiere del de aquellas rocas; pero el hecho de que, tanto cerca de Villayuste, como en Cornombre, existan pizarras rojas

en contacto con el carbonífero, apreciándose bastante claramente en este último punto una rotura entre las dos formaciones, me hace suponer que aquellas pizarras pardas sean también devonianas, y que este terreno forme aquí un violento sinclinal, en cuyo núcleo están las pizarras pardas y en ambas ramas los conglomerados y pizarras rojo sangre, laminados en muchos sitios.

Aunque esto no pasa de ser una hipótesis, doy esta interpretación en el mapa y cortes adjuntos, asimilando estos niveles, provisionalmente y entre tanto no se encuentran argumentos de más peso, al devoniano inferior, que, como vamos a ver a continuación, aparece al sur de Portilla de Luna.

En el camino de herradura que desde la carretera conduce a Portilla, al norte del nivel de cuarcitas blanquecinas que buzán  $75^\circ$  NE., y sin que se vean las pizarras ampliticas, tal vez ocultas por los derrubios, se encuentra una serie de areniscas rojas ferruginosas o amarillas, con niveles más cuarcitosos y duros y pizarras rojizas o verdosas intercaladas. Las areniscas suelen tener algunos tallos de crinoides limonitizados, y a cosa de 800 m. del pueblo he encontrado también restos de *Spirifer* y *Athyris*.

En la parte más alta del tramo, se encuentra un nivel de pizarrillas pardoverdosas, deleznales (cayuela), ya en contacto con las calizas del nivel superior.

Esta serie continúa hacia el Este, adelgazándose cada vez más, para morir en la carretera de La Robla, poco antes de Olleros de Alba.

Se ve, pues, cómo las características de estas capas y los escasos restos fósiles encontrados, concuerdan con las de la arenisca de San Pedro, señalada por Compte en Barrios.

Respecto a su edad, este autor considera que son nive-

les de tránsito del siluriano al devoniano y es posible que algunas de las capas inferiores sean aún silurianas, pero las areniscas rojas tienen todo el aspecto de ser devonianas, con sus frecuentes tallos de crinoides y algún braquiópodo; pero además, hay que tener en cuenta que las calizas que están al techo, son, sin duda, ya eiffelienses, pues se corresponden con las típicas de este nivel, que siempre contienen una abundante fauna eiffeliense y se extienden, con pocas interrupciones, desde aquí hasta Cistierna.

La caliza eiffeliense, gris y fosilífera, aparece, como decimos, descansando sobre el nivel de areniscas de San Pedro, en faja muy continua que se inicia hacia el kilómetro 5 de la carretera de La Robla, y con dirección casi constante N.  $70^\circ$  O. y buzamiento de  $70^\circ$  N. pasa inmediatamente al norte de Portilla y corta después el río Luña, sin sufrir en todo este recorrido ninguna interrupción. Su potencia no excede en esta zona de los 200 m., y a veces es bastante menor.

Sobre estas calizas yace un nivel más potente de areniscas, cuarcitas y cayuela, del que ya se ha hablado en la primera parte de este estudio.

En aquél se intercalan unas capas de caliza gris bien estratificada y debajo otras de caliza roja, que frecuentemente contiene tallos de crinoides y que deben corresponderse con las calizas rojas que señalamos en la subida de Peña Corada y al norte de Cistierna, entre otros sitios.

Son bien visibles las calizas rojas y grises, al norte de Llanos de Alba, en donde se repiten varias veces por efecto de unos pliegues violentos, en unas canteras de alguna importancia que allí existen.

Más al Oeste he vuelto a ver las calizas rojas al norte

de Olleros, cortadas también por la carretera, y al norte de la Collada de Olleros.

La potencia de esta serie cuarcitosa es, en la Collada de Olleros, de unos 500 metros.

La caliza gris tableada, sin fósiles, corona igualmente aquí la serie devoniana y se la ve ocupando los altos al norte de Olleros y Portilla, hasta el río Bernesga. No insisto en su descripción por haber tratado de esta serie, con suficiente detalle, anteriormente.

### Carbonífero

Varias son las cuencas carboníferas delimitadas en el ámbito de este estudio, de extensión e importancia industrial muy diferentes, pero que sirven para evidenciar que el paleozoico que se extiende al oeste y sur de La Magdalena, no es todo él, ni con mucho, carbonífero, sino que este terreno da lugar a diversas cuencas, algunas de escasa importancia, que yacen en medio del devoniano o el siluriano, terrenos que, en su mayor parte, integran este paleozoico.

Empezaré la somera descripción de estas manchas por la de La Magdalena, que es la de mayor extensión e importancia.

En esta cuenca, de antiguo conocida y explotada, el carbonífero productivo, cuyos límites no se detallan por ser bien visibles en el mapa, está formado por areniscas y pizarras, análogas a las de las restantes cuencas de la provincia, entre las que aparecen varias capas potentes de carbón, que no detallo, por sobrado conocidas.

Las pizarras son muy ricas en flora fósil, que en gran

abundancia puede recogerse en casi todas partes, pero en especial en las escombreras de las innumerables labores existentes:

De esta flora he recogido y clasificado, como botón de muestra, las siguientes especies, procedentes, todas, del camino de Viñayo a Piedrasecha, a cosa de un kilómetro al norte del primer pueblo:

*Callipteridium pteridium*, Schlot.

— *regina*, Weiss.

*Neuropteris planchardi*, Zeiller.

*Alethopteris grandini*, Brong.

*Annularia longifolia*, Brong.

*Annularia stellata*, Schlot.

*Calamites suckowi*, Brong.

*Dorycordaites palmaeformis*, Goepfert.

Que parece indicar bastante explícitamente que nos encontramos en el estefaniense. Luego veremos que tectónicamente también se deduce esta edad para los carbones de La Magdalena.

Entre las areniscas y pizarras, se encuentran algunas capas de conglomerados, pero junto a Garaño, la carretera y el río cortan un nivel de conglomerados de 50 m. de potencia, de cantos bien rodados de tamaño medio. Más al Norte, aparece otro nivel de conglomerados, algo menos potente, que también corta el río y la carretera en el kilómetro 1,800 aproximadamente, y se continúan a ambos lados, tanto a la orilla derecha del río como al norte de Garaño, en donde pueden cortarse si se sigue el camino que conduce de este pueblo a Portilla.

Sin embargo, estos episodios son poco constantes y forman lentejones de extensión reducida, pues en el corte

del carbonífero que proporciona el arroyo de Piedrasecha, desde Otero hacia el Norte, no se encuentra ningún nivel de conglomerados y sólo a la altura de Viñayo se ven algunos bancos de pudinga entre las areniscas y pizarras.

En el Km. 2,700 de la carretera de Belmonte, se puede estudiar muy bien la base de esta serie carbonífera que está formada por las siguientes capas: 20 m. de un conglomerado de color rojo, compuesto predominantemente de trozos de pizarras verdes, sin rodar, y areniscas oscuras también en cantos angulosos. Sobre estas capas, otras más blandas, rojas, de pizarras arcillosas color sangre y conglomerados blandos un poco más rodados; y, por último, encima, las pizarras y areniscas con carbón y lentejones abundantes de conglomerados, de cantos bien rodados.

Es conveniente hacer notar que el conglomerado rojo y las margas rojas que se ven aquí, recuerdan algo por su color a los que se han descrito en Manzanedo y La Urz y que he atribuído provisionalmente a la base del devoniano. Pero su constitución litológica es algo diferente y, además, estas capas aparecen claramente en la base del carbonífero productivo, mientras que las de Manzanedo vienen separadas del carbonífero por un nivel de pizarras que parecen silurianas o devonianas.

Por debajo de estas capas, a lo largo de la carretera y en Vega de Caballeros, existe una formación, que también resulta difícil datar, por tener características diferentes a todo lo que hasta ahora he encontrado.

Se trata de una serie que, en su base, en Vega de Caballeros, tiene un nivel de areniscas amarillentas, bastas y algo micáferas, y, sobre ellas, pizarras gris-verdosas o pardas. El resto de la formación se compone de pizarras gris-verdosas o pardo-oscuras, bien estratificadas, en lechos

de dos a tres centímetros, que se desmenuzan con cierta facilidad, y banquitos intercalados de areniscas cuarcitasas, duras, de color gris-verdoso.

La formación llega hasta la base del carbonífero que antes se ha descrito, y éste descansa sobre los estratos últimos de aquella serie, al parecer concordantemente. Las capas de pizarras giran formando cubeta, en la misma forma que lo hacen las del carbonífero, pero si se observan con atención se ve que aquéllas suelen estar bastante rizadas y acusan más trastornos que las francamente carboníferas, que suelen tener una regularidad mayor. Al mismo tiempo parece apreciarse una ligera discordancia entre las dos formaciones, lo cual viene corroborado por el hecho de que los conglomerados de cantos angulosos de entrada del carbonífero, están formados a expensas de las pizarras y cuarcitas sobre las que descansan.

A pesar de una detenida búsqueda por estos estratos, no he conseguido encontrar ningún resto fósil.

Así pues, nos encontramos ante una formación inferior a unos niveles estefanienses, de aspecto muy diferente al del devoniano e incluso al de las pizarras silurianas, pues estas últimas son, en general, más grises y satinadas, y con gran cantidad de filoncillos de cuarzo que faltan aquí y, por último, de tectónica del tipo de la carbonífera.

Parece, pues, lógico incluir estos estratos en el carbonífero, pero ello plantea el problema del piso en que hay que encajarlos.

Por su facies parecería lógico atribuirlos al culm, pero la discordancia con el estefaniense es muy pequeña para admitir, entre ambos niveles, la existencia del plegamiento asturiano. Parece así más probable, suponer que se han depositado muy al principio del estefaniense, cuando aun la fase asturiana no había terminado, o también en

el carbonífero medio. Es éste problema que queda aquí planteado, en espera de que reconocimientos más detenidos permitan resolverlo.

El carbonífero de La Magdalena, se extiende de Oeste a Este, en parte oculto bajo el cretáceo y el cuaternario, desde Soto y Amío (en donde se encuentran algunos restos de flora fósil y carboneras en la colina de la iglesia) hasta la collada de Olleros.

Pero, además, he encontrado dos pequeñas manchas de carbonífero: una en el desmonte de la carretera existente en la bifurcación de las de La Robla y León, con *Callipteridium pteridium*, y otra, en el Km. 1,500 de la carretera de La Robla, con *Callipteridium regina*, que indican que la cuenca carbonífera ocupa todo el valle de Otero, bajo el cuaternario.

También he encontrado otra mancha en Olleros, que la carretera pone al descubierto al sur del Km. 7, con *Pecopteris arborescens*. Así pues, podemos asegurar que el carbonífero de La Magdalena llega por el Este a Olleros de Alba, en parte oculto bajo las arenas cretáceas y el mioceno, no habiendo encontrado más vestigios de esta formación más allá del Km. 8 de la carretera.

Independientemente de esta cuenca, existen otros varios isleos carboníferos, de mucha menos importancia industrial, pero muy interesantes por los problemas que plantean.

El más extenso, consiste en una larga faja, en algunos sitios muy estrecha, que comienza al norte del Cuerno de Bobia y pasa por La Urz, Arienza, Cornombre y Sosas del Cumbrial, continuándose, al parecer, más hacia el Oeste.

En la zona de Cornombre-La Urz, existe una potente formación de conglomerados de color gris y elementos gruesos y bien rodados de cuarcita y cuarzo, que constitu-

yen el monte Sangonera y el Alto del Rebollo, de elevada cota. Pero tanto al oeste de Cornombre, como al este de La Urz, las pudingas decrecen rápidamente y en Sosas del Cumbrial o al norte de Lago y Villayuste, no se encuentran más que pizarras y areniscas con flora fósil y algunos bancos de conglomerados intercalados.

Al norte de Cornombre, los conglomerados potentes, con grandes bolos de cuarcita, yacen con buzamiento de 55° S., sobre pizarras verdosas o vinosas satinadas, que parecen concordantes, pero se ve a los conglomerados llenar huecos de los estratos pizarrosos.

En Sosas del Cumbrial, el Sr. Sampelayo (P. H.) y yo, señalamos ya la presencia del carbonífero en 1942, con flora compuesta de *Annularia*, *Calamites suckowi* y *Pecopteris arborescens*, atribuyéndolo al estefaniense.

Más al Este, en la zona de las pudingas potentes, no se ven las pizarras, que deben quedar ocultas bajo aquéllas, por efecto de una inversión; pero en La Urz, reaparecen las pizarras muy trastornadas, con varios afloramientos de carbón, bastante llamativos, que han sido objeto de varios intentos de explotación.

Desde aquí hacia el Este, continúan las pizarras y areniscas con alguna flora y muchos carboneros, en los que se han hecho múltiples socavones de reconocimiento. Estas labores, diseminadas todo a lo largo de la faja carbonífera, que aquí es bastante estrecha, llegan hasta la vertiente norte del Cuerno.

En la zona al norte de Villayuste y de la faja carbonífera reseñada, se encuentran areniscas grises o amarillentas y pizarras de tonos algo más claros y verdosos, que ya he mencionado al hablar del siluriano.

Al mismo tiempo, al norte, tanto de Sosas del Cumbrial como de Cornombre, parece que el carbonífero está

concordante o muy poco discordante sobre pizarras grises o verdosas, laminares, todo lo cual parece indicar que la faja de pizarras adyacente al carbonífero, por su lado norte, representa también un carbonífero análogo al que se ha señalado antes en Vega de Caballeros.

En todo caso, aquí, con un reconocimiento rápido, no ha sido posible delimitar este supuesto carbonífero, y de momento lo conservamos en el mapa unido al siluriano, pero haciendo esta salvedad.

Al sur de Callejo de Ordás se encuentra otro isleto carbonífero en una faja de anchura máxima de 300 m. por 3 Km. de longitud, compuesta de areniscas y pizarras con abundante flora y capas de carbón, que han sufrido intentos de explotación, quedando ahora unos planos inclinados y galerías abandonadas.

Este carbonífero está en contacto por el Norte con las arenas cretáceas y, por el Sur, con pizarras silurianas con mucho cuarzo.

Los estratos carboníferos, orientados E.-O., tienen un buzamiento de 40° S., mientras que el siluriano está vertical y con igual rumbo.

Por el Este, el carbonífero, lo mismo que las formaciones que lo flanquean, se oculta bajo los aluviones del río y luego bajo el mioceno, mientras que hacia el Oeste se lamina y acaba por desaparecer.

Ahora bien, a la altura de Valdesamario, y semioculta bajo el cuaternario del valle, aparece una nueva mancha de carbonífero con la misma orientación y alineada con la que se acaba de describir, lo que parece indicar que ambas pertenecen a una misma cuenca primitiva, fraccionada en rosario por los violentos empujes soportados.

Este carbonífero está formado por un nivel poco potente de conglomerados no muy rodados, que aparece en el

casario de La Parte y cruza diagonalmente el valle en dirección NO. Al norte del conglomerado, se encuentran las pizarras y areniscas carboníferas, arrumbadas N. 55° O. y con buzamiento de 75° SO. Existen varias capas de carbón bastante buenas, cuya explotación se está iniciando, y se encuentra en construcción y muy avanzada una carretera que conduce a la mina desde Agrados de Ordás.

La faja carbonífera, pinzada entre cuarcitas y pizarras silurianas verticales, a la altura de la confluencia del arroyo de Valdecubiella, gira hacia el Oeste y se continúa por el fondo del valle de Valdesamario hasta Ponjos y Murias de Ponjos, y debe enlazar con la importante zona carbonífera de Espina de Tremor.

### Cretáceo

Ya vimos que este terreno se componía de un nivel inferior arenoso-caolinífero de facies albense, y otro superior margo-calizo, si bien este último desaparecía antes de llegar a La Robla.

En efecto, pasado el cuaternario del valle del Bernesga, reaparece el cretáceo, constituido sólo por las arenas y el caolín, con abundante grava y conglomeradillo, de colores amarillo, blanco o rojizo, en estrecha faja que corre por Llanos, Sorribos y Olleros, llegando, con alguna solución de continuidad, producida por el avance transgresivo del mioceno, hasta Santiago de las Villas.

En Carrocera, reaparece y se extiende hasta más allá de Viñayo, pero con la particularidad de que hasta aquí el cretáceo limitaba siempre por el sur al paleozoico y venía recubierto a su vez por el terciario, pero a partir de

Carrocera, las arenas cretáceas se encuentran pinzadas en medio del paleozoico, y en este caso del carbonífero.

Más al Sur, en la carretera, entre Otero y La Magdalena, se encuentran de nuevo las arenas, semiocultas por el cuaternario del valle, y así se continúan hacia el Oeste por Quintanilla y Soto y Amío, para llegar hasta Riello, en donde desaparecen definitivamente, siendo este punto el máximo avance hacia el Oeste de la transgresión cretácea.

Por último, más al Sur, existe otra faja de arenas cretáceas, que arranca del cuaternario del valle del Luna, en Santa María de Ordás y sigue, estrechándose, a lo largo del camino de Valdesamario, con alguna interrupción, hasta dos kilómetros antes de llegar al río Omañas.

### Oligoceno

Como ya vimos en la primera parte, el oligoceno, compuesto de areniscas y margas rojas, cruza el valle del Bernesga y continúa al sur de la carretera de La Magdalena, pero pronto el mioceno, antes de llegar a la Collada de Olleros, recubre definitivamente los niveles oligocenos que no vuelven a verse ya más al Oeste.

### Mioceno

A partir del río Bernesga hacia el Oeste, avanza transgresivo el mioceno sobre el oligoceno y terrenos más antiguos, de la misma manera que hemos visto sucedía desde Cistierna hacia el Este.

Ya discutimos entonces la atribución a este terreno de las margas y arcillas rojas transgresivas, pero aquí he tenido ocasión de extender el estudio más hacia el Sur, enlazando con la hoja de León, estudiada muy detalladamente por los Sres. Sampelayo (P. H.), Lacaña (F.) y Comba (A.).

Se trata de los mismos niveles, que se pueden seguir paso a paso, a lo largo de los cursos de los ríos Bernesga y Luna, en posición sensiblemente horizontal y que estos autores sitúan igualmente en el mioceno, confirmando así la atribución que entonces se hacía.

En la zona entre los dos ríos citados, el mioceno se compone casi exclusivamente de margas y arcillas de colores rojo o amarillo y faltan en absoluto los conglomerados.

En las inmediaciones de Tapia de la Ribera se ve el mioceno en el contacto con el siluriano, constituido en su base por arcillas rosadas, arcillas blancas muy micíferas, arcillas arenosas y arenas con gravilla. Encima se encuentra una serie de arcillas y margas color salmón, con gravilla, que llega hasta lo alto del páramo.

Las capas están horizontales o con un suavísimo buzamiento al sur, pero en las arcillas rosadas de la base se mide un buzamiento al Sur de 15°.

El monte del Cuerno, que se eleva al norte de Bobia y Quintanilla, está cubierto de gruesos cantos rodados de cuarcitas y cuarzo, y en la ladera norte se ven descarnaduras con tierras de colores rojos, lo que indica que todo este monte está ocupado por el mioceno, que aquí debe tener algunos bancos de conglomerados con grandes bolos.

### Cuaternario

El fondo de los valles suele estar ocupado parcial o totalmente por aluviones cuaternarios que localmente ocultan las formaciones más antiguas y constituyen buenas tierras de labor.

Estos aluviones alcanzan especial importancia en los valles de los ríos Luna y Bernesga, en donde presentan gran anchura, hasta enlazar con el extenso manto cuaternario del centro de la provincia.

### TECTÓNICA

Los accidentes que afectan a los distintos niveles paleozoicos y cretáceos en la zona que se extiende desde La Robla hasta Vegarrienza, no ofrecen una gran complicación, y, sin embargo, existen anomalías que dificultan en gran manera la comprensión de la orogenia general.

En primer lugar, a partir de Carrocera hacia el Oeste, interviene una nueva unidad tectónica que hasta ahora no se había tenido que considerar. En efecto, todo a lo largo de la Cordillera Cantábrica, en la porción hasta ahora estudiada, se tenía, en el borde Sur, el paleozoico en contacto con el cretáceo e inmediatamente al Sur el terciario, que ocultaba, definitivamente, a todas las formaciones anteriores. Pero, desde Carrocera hacia el Oeste, se retira el mioceno, que viene sustituido por una gran masa de pizarras silurianas, y el cretáceo ya no limita por el Sur al paleozoico, sino que se adentra por él en varios ramales, que quedan pellizcados en el paleozoico por efecto de los movimientos pirenaicos.

La intervención de esta gran masa de siluriano, da lugar, sin duda, a las anomalías que luego se exponen.



### Los pliegues del devoniano

Entre el río Bernesga y el Luna, se extiende ampliamente el devoniano, acompañado de unos reducidos asomos de siluriano y cambriano, con una tectónica más sencilla que la que se vió al otro lado del Bernesga, y a medida que se avanza hacia el Oeste se suavizan los accidentes que aun se ven cerca de aquel río.

Al norte de Llanos de Alba y Olleros de Alba, se encuentran en las cumbres las calizas tableadas del devoniano superior y debajo de ellas las cuarcitas y pizarras con un nivel de caliza roja intercalado, todo muy levantado y trastornado, pero en corridas bastante continuas, que forman un sinclinal de las calizas tableadas, en los altos del Fontañón, seguido al Sur de un agudo anticlinal y un nuevo sinclinal isoclinal, vergente al Sur, que en el Bernesga tiene por efecto repetir por dos veces las calizas rojas con tallos de crinoides. En esta zona, los bancos calizos están extraordinariamente replegados en infinitas circunvoluciones. En el corte n.º I, puede seguirse la sucesión de los pliegues del devoniano.

Las capas que en Llanos se arrumban E.-O., o ligeramente giradas hacia el NE., describen un arco hacia el Oeste, de concavidad vuelta al Norte; a partir de Olleros van apareciendo nuevos niveles cada vez más bajos, hasta que, en Mora, las capas se orientan al NO., y aparece en la serie estratigráfica, bajo el devoniano, el siluriano y el cambriano. Los estratos forman, ya aquí, un monoclinal, con buzamiento constante al NE., que oscila entre 50° y la vertical, y los distintos niveles se pueden seguir sin solu-

ción de continuidad durante largos trechos. Así, por ejemplo, la caliza gris fosilífera, devoniana, que pasa al norte de Portilla, y las cuarcitas silurianas de la presa de Barrios, a mitad camino entre este pueblo y la carretera.

Al sur del cambriano vertical, hay una rotura que sesga algo las capas y pone en contacto el cambriano, y luego el siluriano, con pizarras y areniscas amarillas y rojas y bancos más cuarcitosos, que forman otro anticlinal brusco; una nueva rotura separa este devoniano del siluriano, que se extiende ya ampliamente hacia el SO.

Existe una clarísima discordancia tectónica entre esta serie y el carbonífero de La Magdalena, que se arrumba E.-O., merced a la cual, este terreno aparece en contacto sucesivamente con los distintos niveles del devoniano, luego con el siluriano y, finalmente, con el devoniano de la faja de Mora.

### El siluriano entre los ríos Luna y Omañas

Las pizarras silurianas que, como hemos visto, se extienden por una amplia zona, aparecen siempre intensamente plegadas, con buzamientos que se alejan poco de la vertical y afectados por infinidad de pliegues de detalle y pequeño radio.

No obstante, en líneas generales, las alineaciones son bastante constantes, y muestran el comienzo del arco galaico-astur, con una dirección de los estratos que varía de E.-O. a N. 75° O., en la zona al sur de La Magdalena, mientras que más al Oeste, a la altura de Vegarienza, ya han girado algo las capas en el sentido de las agujas de un reloj, orientándose N. 60° a 75° O., sin perder su posición próxima a la vertical.

Entre Villayuste y Mora, se acusa una inflexión de los pliegues y los estratos se disponen en dirección sensiblemente NO.-SE., pero luego giran y siguen las orientaciones indicadas.

El conjunto del paquete siluriano forma, sin duda, una sucesión de pliegues isoclinales, cuya determinación requeriría un trabajo de mucho detalle.

### Las cuencas carboníferas

Plantean las distintas cuencas carboníferas reconocidas en este estudio, problemas tectónicos, que no puedo hacer más que esbozar por ahora, pues su total esclarecimiento requiere ampliar el reconocimiento a un área mucho más extensa, que permita obtener conclusiones de orden general, a las que no se puede llegar en tanto no se ha estudiado la casi totalidad del espacio afectado por los plegamientos que se trata de explicar.

La cuenca de La Magdalena, la más importante, tanto por su extensión como por su interés industrial, forma un sinclinal orientado casi E.-O., que parece vergente al Norte, cosa que está en desacuerdo con lo que se ha visto desde La Robla hacia el Este, en donde las vergencias de los pliegues posteriores al movimiento herciniano son hacia el Sur.

Las capas del carbonífero productivo se ven claramente discordantes, por el Norte, sobre los distintos niveles devonianos, y lo mismo sucede con las pizarras de Vega de Caballeros. Entre estos dos niveles ya se ha dicho antes que se aprecia una pequeña discordancia subrayada por la presencia de los conglomerados.

Al O. y NO. de Garaño, a ambos lados del río Luna, el carbonífero describe una curva acusada, para contornear el monte Cuerno, estrechándose, entonces, notablemente la cuenca, que, a partir de aquí, va perdiendo en amplitud, para desaparecer totalmente pasado Soto y Amío.

La curva tectónica de Garaño va acompañada de un brusco pliegue en rodilla de las pizarras y areniscas carboníferas.

Tanto la flora encontrada en la cuenca, como la discordancia señalada, contribuyen a atribuir a aquélla una edad estefaniense; sus estratos, depositados después del plegamiento asturiano, han sufrido un empuje de dirección aproximada N.-S. y sentido Norte al parecer, que ha dado lugar a un pliegue sinclinal de esta orientación, con algunas anomalías, debidas, sin duda, a alguna resistencia local.

La vergencia Norte del carbonífero, puede ser debida a dos causas. Bien a que el plegamiento sea anterior al cretáceo, de fase saálica o páflica, de empuje dirigido hacia el Norte, o a que la presencia de importantes masas silurianas al sur del carbonífero haya dado lugar a determinadas reacciones que no se producen desde el collado de Olleros hacia el Este.

En efecto, en todo lo que hasta aquí hemos visto, el paleozoico, por efecto del levantamiento pirenaico, aparece volcado sobre el cretáceo y oligoceno, que lo limita por el Sur, pues el desequilibrio de fuerzas producido por el continuo hundimiento del lago oligoceno, tiene por efecto volcar hacia el Sur el paleozoico. Por el contrario, desde Santiago de las Villas, hacia el Oeste, se termina el lago terciario y aparecen grandes masas de estratos silurianos muy plegados que, al producirse el plegamiento pirenaico,

cogen entre sus mandíbulas al carbonífero e impiden que se vuelque hacia el Sur, como sucede, tanto a éste como al devoniano, allá en donde falta aquel elemento resistente.

Probablemente deben haber influido las dos razones apuntadas, ya que en algunos sitios de la cordillera se encuentran pruebas de plegamientos de edad saálica o pfálica y se observa una neta discordancia entre el carbonífero y el cretáceo, allá en donde estos terrenos aparecen en contacto.

Las pequeñas cuencas de Castillejo de Ordás y Valdesamario, aunque independientes, hay que considerarlas en conjunto, pues su situación y características indican que son retazos de una misma cuenca.

Las pizarras y areniscas carboníferas con lechos de carbón, aparecen al sur de una larga faja de cuarcitas claras, que en posición vertical o con fuerte buzamiento al Norte se extiende con gran regularidad desde Adrados hacia el Oeste.

El carbonífero es netamente discordante con el siluriano, pues buza casi constantemente al Sur, de 40° a 75°.

Al oeste de Valdesamario, el carbonífero tiene también un nivel de conglomerados que aparecen en el caserío de La Parte y poco más al Oeste, interrumpidos por el cuaternario del valle. Las capas carboníferas con lechos de carbón, cuya explotación se halla iniciada, se dirigen, primero, hacia el N. 55° O., pero poco más al Oeste giran y remontan el valle, siempre ocupando su fondo, para empalmar probablemente con el carbonífero de Espina de Tremor.

En general, las directrices tectónicas del carbonífero y siluriano son aquí muy semejantes, y sólo en la extremidad próxima a Valdesamario, muestran las capas carboníferas

una divergencia acusada en relación con las cuarcitas. Las direcciones de los empujes en los distintos plegamientos han debido ser muy semejantes, y en tales condiciones es muy difícil deslindar los efectos producidos por cada una de las orogenias que han actuado.

Por último, hay que considerar una curiosa faja carbonífera que, con una anchura a veces reducida, se inicia al norte del Cuerno de Bobia, sigue sin interrupción hasta Sosas del Cumbrial, y es posible que se continúe más al Oeste, si bien el reconocimiento no se ha llevado más allá del citado pueblo.

Desde La Urz, hacia el Este, sólo se encuentran pizarras y areniscas, con lechos carbonosos y algún nivel de conglomerados, con buzamientos hacia el primer cuadrante. La faja carbonífera describe un amplio arco, y al llegar al pueblo citado se alinea sensiblemente E.-O., y al norte de las pizarras se desarrolla una potente serie de conglomerados que, al este de La Urz y al oeste de Cornombre, decrece rápidamente para desaparecer por completo. En Sosas del Cumbrial ya sólo se encuentran algunos bancos de conglomerados intercalados en las pizarras y areniscas, buzando todo fuertemente al Norte.

No resulta nada clara la tectónica de este carbonífero, pero parece que todo él está más o menos volcado hacia el Sur, llegando a ocultarse las pizarras carbonosas, entre Sosas y La Urz, bajo la masa de conglomerados que las cobija.

Además, en favor de esta hipótesis, pueden aducirse las observaciones señaladas ya al describir la estratigrafía: al norte de Cornombre, los conglomerados descansan subconcordantes sobre pizarras verdes que parecen inferiores a todo el sistema, y al norte de Sosas, el carbonífero, con fuerte buzamiento al Norte, parece concordante con unas

pizarras laminares grises, que se extienden al norte del carbonífero, todo a lo largo de la faja.

Parece, pues, que las directrices tectónicas sean diferentes de las que han determinado los pliegues de la cuenca de La Magdalena y, en cambio, son semejantes a las que se han descrito en la zona devoniana del río Luna. Dicho en otras palabras: el plegamiento que ha ocasionado la tectónica del carbonífero de La Urz parece de edad asturiana, lo que equivale a decir que este carbonífero debe ser westfaliense, mientras que el de La Magdalena parece, por razones tectónicas y paleontológicas, estefaniense.

Los fósiles no contribuyen, hoy por hoy, a resolver este problema, pues he encontrado poca flora y no bien conservada. Cuando en compañía de D. Primitivo H. Sampelayo describimos el carbonífero de Sosas del Cumbra, le atribuímos edad estefaniense, basándonos en la flora fósil, pero sabido es que es ésta, en ocasiones, base poco sólida en cuanto se encuentran argumentos en contra, de otro orden.

Así pues, queda planteado el problema de la edad del carbonífero de la zona Sosas-La Magdalena y de su plegamiento, cuestión sobre la que quisiera volver si las circunstancias lo permiten.

### La transgresión cretácea

Depositado el carbonífero, se produce una surrección general de toda esta zona, que da lugar a su emersión y, en su consecuencia, a la no deposición de materiales triásicos ni jurásicos.

Continúa este régimen a lo largo del cretáceo inferior, pero a finales de éste las aguas avanzan de nuevo por el amplio golfo, limitado al Norte por la Cordillera Cantábrica, y al Sur por Gredos y el Guadarrama, llegando en su transgresión las arenas albenses hasta Riello, en donde se encuentra el afloramiento más occidental de sedimentos de edad cretácea que conocemos en León y Castilla la Vieja.

Depositado el tramo del caolín y las arenas, vuelve a quedar emergida toda esta región en la que no se encuentran nuevos sedimentos, hasta que, terminada la fase orogénica pirenaica, se produce la última invasión de las aguas, esta vez lacustres, en las que se depositan los acarros miocenos que rellenan toda la planicie de León y Palencia.

El plegamiento pirenaico se ha acusado en esta región de dos maneras diferentes, según los elementos resistentes en juego.

Desde el río Bernesga, hasta Carrocera, el empuje hacia el Sur que venimos viendo en el borde meridional de la cordillera, se produce aquí en la misma forma, dando lugar a un anticlinorio paleozoico, más o menos desplomado al Sur sobre el cretáceo y oligoceno. Así pues, estos dos terrenos, en la inmediación del contacto con el paleozoico, aparecen verticales o volcados al Sur, formando un sinclinal asimétrico.

Pero a partir de Carrocera, hacia occidente, el cretáceo ya no tiene al Sur la depresión terciaria, sino que se encuentra aprisionado entre el paleozoico, más rígido, y los empujes de edad pirenaica, dan lugar, en unos sitios, a que quede pinzado el cretáceo entre los estratos paleozoicos, como ocurre al norte de Otero de las Dueñas, en donde las arenas parece que buzan 60° S., pero corrientemente,

la rigidez del paleozoico impide que el empuje sobre el cretáceo se transmita con mucha intensidad, y de esta forma los estratos aparecen con buzamientos suaves, que oscilan entre 45° y 15°.

Esta disposición poco trastornada, es la dominante, tanto en la ramificación cretácea que entra por Soto y Amío, hasta Riello, como en los isleos existentes más al Sur, en la zona de Ordás. Por desgracia, las características litológicas de estas arenas no son favorables para que se pueda observar su estratificación, y sólo en contados puntos se puede ver la posición que ocupa el cretáceo y, por lo tanto, el grado de influencia de los empujes pirenaicos.

### Movimientos intramiocenos

En el estudio de la reserva carbonífera de León, ya se señaló la existencia de débiles movimientos póstumos que levantaron ligeramente algunos niveles miocenos.

También en el área de este estudio se ha encontrado alguna huella de estos movimientos, en general poco visibles, por cuanto los niveles más altos del mioceno avanzan transgresivos hasta el contacto con el cretáceo o paleozoico.

Al oeste de Tapia de Ribera y de la carretera, el barranquillo que corre por el contacto del siluriano con el mioceno, ha puesto al descubierto unos niveles inferiores miocenos, compuestos de arcillas rosadas y blancas, micáferas y con gravilla, recubiertas por las margas y arcillas color salmón, cuyas capas tienen un buzamiento hasta

de 15° S., lo que evidencia que, ya iniciado el mioceno, se ha producido un último empuje, ya muy débil, hacia el Sur.

El resto de la formación miocena aparece subhorizontal y trasgresiva hasta el contacto con el paleozoico.

## CONCLUSIONES

El reconocimiento efectuado en la región La Robla-Vegarienza, pone de manifiesto que el área ocupada por el carbonífero productivo es mucho más reducida de lo que figura en los mapas geológicos actuales.

La cuenca de La Magdalena, se adelgaza hacia el Oeste y se extingue poco más allá de Soto y Amío. Por el Este, se adelgaza también recubierta transgresivamente por el mioceno, pero aparecen retazos de carbonífero con flora hasta pasado Olleros de Alba. Al mismo tiempo, aflora también el carbonífero al sur de Carrocera y del cuaternario del Valle, así como en la bifurcación de las carreteras de León y La Robla.

Esto indica que se puede contar con una ampliación de esta cuenca carbonífera, bajo el cuaternario y el mioceno, a profundidades que no deben pasar de los 300 m. en el vértice Leras. Esta ampliación viene limitada, por el Sur, por una línea aproximada que, partiendo del hito del kilómetro 1 de la carretera de La Robla, pase por el collado de cota 1.306, al sur del collado de Olleros, y vaya a buscar a aquella carretera en el hito del Km. 8, al este de Olleros de Alba.

Esta ampliación de la cuenca puede tener interés local,

pero su reducida importancia no aconseja realizar investigaciones por cuenta del Estado.

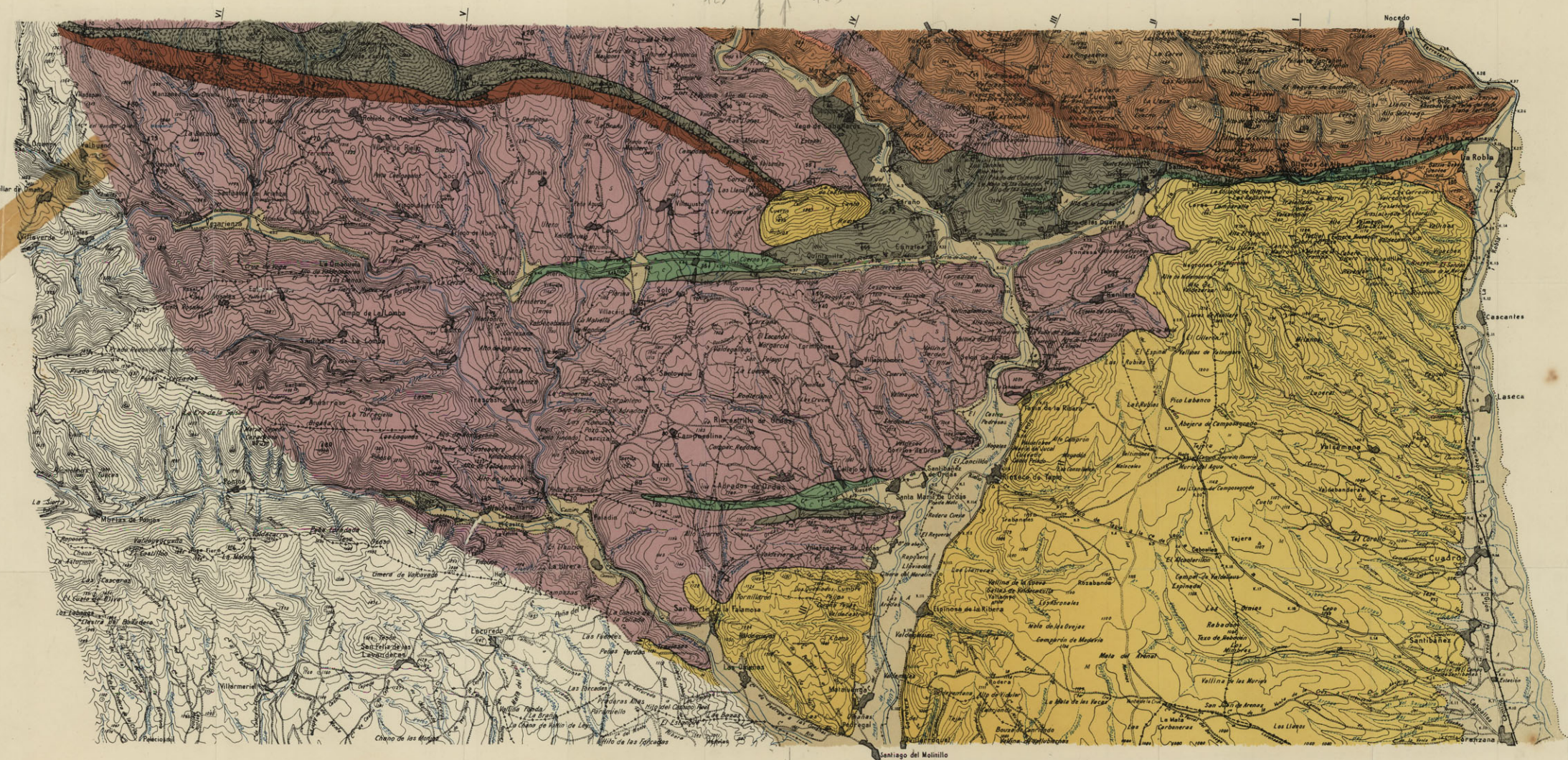
En cuanto a la cuenca de La Urz, es muy reducida y trastornada, por lo que su importancia es escasa, y lo mismo puede decirse de la de Callejo de Ordás, que es fácil se continúe bajo el cuaternario del río Luna, pero también muy reducida y sin interés práctico.

La cuenquecita de Valdesamario, suponemos es prolongación de la de Espina de Tremor, y el interés residirá más en la cuenca de Tremor que en esta prolongación que se extingue bajo el cuaternario, por el Este.

*28 de junio, 1950.*

# DELIMITACIÓN DEL CARBONIFERO DE LA ZONA "LA ROBLA-VEGARIENZA" (LEÓN)

ESCALA 1 : 50.000



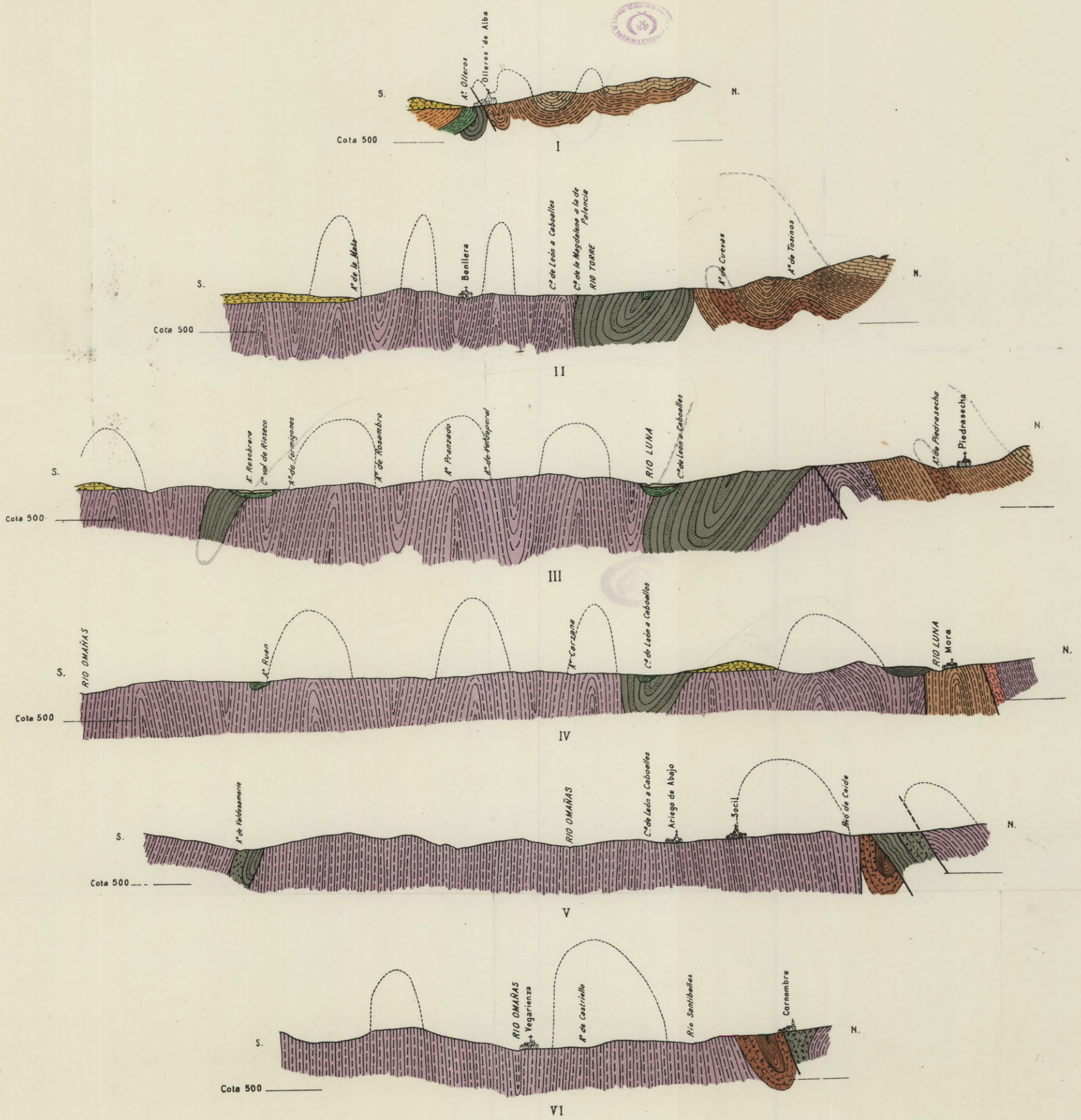
<b>Cuaternario</b>	<b>A</b> Aluviones	<b>C</b> Arenas y caolín	<b>D1</b> Oolitas lobada	<b>Siluriano</b>	<b>S</b> Pizarras y cuarcitas	..... Contacto normal
<b>Mioceno</b>	<b>M</b> Arcillas, margas y conglomerados	<b>H</b> Pizarras, areniscas y conglomerados con capas de carbón	<b>D2</b> Pizarras y cuarcitas	<b>Cambriano</b>	<b>Cc</b> Oolitas	— Contacto anormal transgresivo
<b>Oligoceno</b>	<b>O</b> Areniscas y margas	<b>Cl</b> Conglomerados de Cluvembre	<b>D3</b> Oolitas festifera			— Cobijadura
	<b>O1</b> Conglomerados	<b>P</b> Pizarras verdes de Vega de los Baballeros	<b>D4</b> Pizarras de Monzonado			— Falla
			<b>D5</b> Conglomerados de Monzonado			↖ Dirección y buzamiento de las capas



# DELIMITACION DEL CARBONIFERO DE LA ZONA "LA ROBLA-VEGARIENZA" (LEON)

## CORTES GEOLÓGICOS

ESCALAS HORIZONTAL Y VERTICAL 1:50.000



### EXPLICACIÓN

<p><b>Cuaternario</b>    A Aluviones</p> <p><b>Mioceno</b>        M Arcillas, margas y conglomerados</p> <p><b>Oligoceno</b>      O Areniscas y margas</p> <p><b>Cretáceo</b>        C Arenas y caolín</p> <p><b>Carbonífero</b>    P Pizarras, areniscas y conglomerados con capas de carbón</p> <p>                    H Conglomerados de Cornombre</p> <p>                    H<sup>v</sup> Pizarras verdes de Vega de los Caballeros</p>	<p><b>Devoniano</b>      D<sup>o</sup> Caliza tableada</p> <p>                    D<sup>1</sup> Pizarras y cuarcitas</p> <p>                    D<sup>2</sup> Caliza fosilífera</p> <p><b>Devoniano?</b>     D<sup>3</sup> Pizarras de Manzanedo</p> <p>                    D<sup>4</sup> Conglomerados de Manzanedo</p> <p><b>Siluriano</b>        S Pizarras y cuarcitas</p> <p><b>Cambriano</b>      C<sup>o</sup> Calizas</p>
--	---



# **RADIATIVIDAD Y GEOFÍSICA**

POR

JUAN MANUEL LÓPEZ DE AZCONA

## INTRODUCCIÓN

El progreso de las ciencias en el campo de la radiactividad natural arrastra un aumento rápido de sus aplicaciones en el campo de la Geofísica y dejan de ser considerados como ilusos los que, hace cerca de veinte años, daban los primeros pasos en estos problemas, importantísimos para el estudio físico de nuestro planeta. Recordamos que en 1935 sostenía Jeffreys, y se puede admitir en nuestros días, que «el avance principal de la Geofísica en los últimos años, no es debido al descubrimiento de métodos nuevos, sino a la aplicación de los conocidos». El principal avance de esta centuria corresponde a la radiactividad; su conocimiento modifica las ideas acerca de la formación de la materia, historia termal de la tierra y permite establecer en años la escala del tiempo geológico.

Con el fin de que no quede desperdigada en varias publicaciones la labor desarrollada en los Institutos Nacional de Geofísica y Geológico y Minero de España (\*), hemos redactado esta obra.

En el campo de la radiactividad, existen una serie de circunstancias que se han de tener en cuenta por los operadores, entre las que figura la inestabilidad de los elemen-

---

(\*) Los trabajos de radiactividad natural se inician en España por Muñoz del Castillo en 1903, creando el Instituto de Radiactividad, incorporado actualmente al Instituto Nacional de Geofísica. A los pocos años se crea el segundo Centro, que es el Laboratorio de Ra-

tos radiactivos, cuando su período es corto, que es imprescindible considerarla tanto en las correcciones de las valoraciones como en la duración de los experimentos a efectuar. Esto ocurre en las mediciones de aguas minero-medicinales con actividad inducida; en ellas se deben incrementar los valores deducidos con la desactivación, desde el momento del captado hasta el de efectuar la medida, y se ha de procurar también que este intervalo de tiempo sea el menor posible. Esta misma circunstancia impide el almacenamiento indefinido de productos, como ocurre con el radón, que en 3,83 días el número de sus átomos queda reducido a la mitad.

Otra circunstancia fundamental, y característica de los elementos radiactivos, es la emisión de radiaciones perjudiciales, de las que es necesario prevenir al personal que maneja los productos, para su seguridad, como ocurre con el radio, que exige la adopción de precauciones para absorber las radiaciones. También es peligroso el polvo de mineral de uranio de las explotaciones mineras, que puede dar lugar a graves trastornos de los productos, si no se toman las debidas precauciones para evitar la absorción del mineral pulverizado o el contacto con la piel.

Como los aparatos destinados a mediciones radiactivas tienen una sensibilidad muy elevada, se han de tomar las debidas precauciones en los laboratorios para evitar la producción de contaminaciones que eleven el fondo de los instrumentos de medida y que incluso sean perjudiciales para los técnicos que en el mismo actúan, ocurriendo algo parecido en los correspondientes establecimientos mineralúrgicos.

diactividad del Instituto Geológico; transcurren varios años sin nuevas organizaciones, salvo algunos trabajos esporádicos en Barcelona y Salamanca, hasta que en 1948 surgen varios grupos, entre los que merece mencionarse el EPALE.

Se ha dado carácter complementario al Capítulo I, que tiene por único objeto una información en el campo de la radiactividad, para que la obra pueda seguirse por científicos no especializados en esta rama.

El Capítulo II, dedicado a los elementos radiactivos y radiogénicos, comienza por la creación de la materia y se desarrolla a continuación una teoría propia sobre la formación de los elementos y variación de los mismos con las composiciones isotópicas, en función del tiempo que les hemos calculado para los momentos esenciales. Como es conveniente vulgarizar el conocimiento de los minerales de uranio y torio, para incitar al descubrimiento de nuevos criaderos, se da una lista sacada de las últimas publicaciones, en la que se han incluido los dos españoles denominados cordubita y guadarramita, ultimando el capítulo con unas ideas para su detección y prospección.

A la medición de edades se dedica el Capítulo III, donde se recopilan y ponen al día las técnicas conocidas.

En muchos casos, las medidas de edades exigen correcciones, que son objeto del Capítulo IV; para facilitarlas, se reproducen los gráficos que hemos construido. Se trata de las aplicaciones sugeridas por Wickman, de la pérdida de emanación para el estudio de las formaciones, y se ultima con algunas interpretaciones especiales de las relaciones isotópicas.

Las primeras consecuencias deducidas de las valoraciones de los plomos comunes, constituyen el Capítulo V, en el que se establecen las curvas que permiten seleccionar las muestras más adecuadas.

Se puede considerar como aportación original del autor el Capítulo VI, que trata de la fijación del momento de formación de los elementos, de la limitación geofísica para los valores de los períodos, y como aplica-

ción se deduce los límites de valores que puede tener  $\lambda_e$  del  $K^{40}$ .

Por métodos originales, se establecen las reservas planetarias de los elementos radiactivos, de las familias largas que constituyen el objeto del Capítulo VII, sus variaciones con el tiempo, así como de las relaciones Pb/U y Pb/Th, que permiten razonar conclusiones nuevas sobre los valores de éstas en profundidad.

En los estudios radiactivos del planeta, se debe dar cabida a un capítulo sobre calor de origen radiactivo, tema del VIII. Se efectúa un balance energético terrestre y considera las aportaciones radiactivas a base de los valores deducidos por el autor en el capítulo anterior, y se razona que el calor generado por los procesos radiactivos es uno de los factores que hacen posible el sostenimiento de la vida en nuestro planeta.

Una de las aplicaciones interesantes de la radiactividad es con fines cronológicos; en el Capítulo IX se fija en años los momentos fundamentales uranológicos, así como de la columna geológica, se comentan los valores deducidos para los minerales españoles y se aplica la radiactividad a la fijación en años de las fechas arqueológicas.

Como complemento, se da una amplia información bibliográfica, con cerca de doscientas citas; los valores de porcentajes isotópicos y períodos correspondientes a los elementos radiactivos, una tabla de valores más frecuentes usados en estas valoraciones y un cuadro de notaciones empleadas para facilidad de cuantos tengan que utilizar las fórmulas o repetir los cálculos indicados en el trabajo, pues se ha tenido el criterio de indicar las fórmulas empleadas y dar los resultados sin las operaciones intermedias, para reducir la extensión de esta publicación.

*Madrid, diciembre de 1950.*

## I. GENERALIDADES (\*)

### I-1. Descubrimiento

Aunque los elementos cabeza de familia radiactiva, al menos los admitidos como aparentes, son conocidos desde hace muchos años, sin embargo, el descubrimiento de la radiactividad natural, data de fines del pasado siglo. Cuando Becquerel, en 1896, expuso emulsiones fotográficas envueltas en papel negro a la acción de las radiaciones emitidas por varios cuerpos fosforescentes, pudo comprobar, que las muestras que contenían sales de uranio, impresionaban las emulsiones fotográficas acondicionadas de la manera ya indicada. Este hecho se consideró como el descubrimiento de la radiactividad natural.

La desintegración natural de los átomos, quedó demostrada a los pocos años, al comprobar independientemente F. Soddy y W. Ransay, en 1903, que las emisiones denominadas alfa, estaban materializadas; posteriormente se identificó a estas partículas como átomos de helio doblemente ionizados.

Antes del cuarto de siglo del descubrimiento de la radiactividad natural, consigue Rutherford dar los primeros pasos en la química nuclear artificial, al bombardear átomos de nitrógeno, por núcleos de helio de alcance grande, procedentes de la desintegración del torio. Por estudios

(\*) La mayor parte de los puntos de este capítulo, de carácter general, meramente complementario, fueron desarrollados con mayor amplitud en las lecciones profesadas por personal de la Sección de Radiactividad del Instituto Nacional de Geofísica, en los siete Cursos de Radiactividad organizados por el mencionado Instituto. Varias de las Conferencias están publicadas en los números 10, 13, 18, 21 y 22 de la «Revista de Geofísica», y en los números 22 y 23 del «Boletín de Radiactividad».

posteriores, se comprobó que la reacción obtenida era la  ${}_7\text{N}^{14} + {}_2\text{He}^4 \rightarrow {}_8\text{O}^{17} + {}_1\text{H}^1$  (\*).

El descubrimiento de que las sustancias estables se pueden transformar en radiactivas, lo efectúan Jolliot y Curie, en 1934, al repetir los bombardeos con partículas alfa, a núcleos de número atómico bajo, en este caso utilizan como blanco de las radiaciones el aluminio, y como manantial de partículas alfa, recurren al polonio.

Los primeros pasos para la obtención de elementos transuránicos, son debidos a Fermi (1934). Este investigador, basándose en el hecho de que los elementos ligeros al ser bombardeados por neutrones procedentes de células que contienen  $\text{Rn} + \text{Be}$ , capturan un neutrón con emisión de radiación beta, para volver a la configuración estable, concibió la idea de bombardear el uranio por neutrones para, conseguir así, el elemento 93 que, en efecto, fué denominado posteriormente neptunio. En su experiencia se encontró con el proceso insólito de haber conseguido un producto con cuatro actividades, con períodos de 10 s., 40 s., 13 m. y 90 m. que no podían pertenecer a isótopos de elementos pesados, comprendidos por el mercurio y el uranio.

La identificación de los productos de escisión del uranio se puso de manifiesto en 1939, al comprobar Feather y Bretscher (41 bis), que algunos elementos radiactivos considerados entonces como transuránicos, eran, en realidad, isótopos de los elementos ordinarios (\*\*), identificando en ellos la existencia del yodo y del telurio, lo que permitió a Hahn y Strassmann dar la interpretación exacta del fenómeno. De los elementos naturales beneficiables, solamente el uranio y el torio son escindibles; para conseguir la escisión es necesario el bombardeo por neutrones con condiciones adecuadas; en el caso del  $\text{U}^{235}$  son necesarios neutrones lentos, mientras que para el  $\text{U}^{238}$  son necesarios neutrones con más de 1,5 Mev. por escisión.

(\*) Los números superiores indican las unidades másicas del núcleo del átomo y los inferiores el número de las cargas eléctricas.

(\*\*) Isótopos: Átomos que tienen el mismo número de cargas, pero diferente masa en su núcleo (Soddy, 1911).

## I-2. Partículas y clases de radiaciones

**Partículas fundamentales.**—Deberían definirse como partículas fundamentales las que no se pueden transformar en otras partículas ni son divisibles. Con los progresos de los últimos años, se deberían eliminar de este grupo los protones y los neutrones, pero se ha preferido dar tolerancia a la definición, para admitir como fundamentales, a las unidades de materia que sirven para formar organizaciones más complejas. Las diversas clases de partículas se agrupan en el cuadro adjunto.

CARGA ELÉCTRICA			M A S A	
+	0	—	UNIDADES	GRAMOS
Protón W. Wien (1898) J. J. Thomson (1906)	Neutrón J. Chadwick (1932) I. Curie, F. Jolliot		$M_p$ 1.00758 $M_n$ 1.00893	$1,66 \times 10^{-24}$
Mesón (Mesotrón)		Mesón C. Anderson y S. Neddermeyer (1936)	$\sim 0.11$	$18 \times 10^{-28}$
Positrón C. Anderson (1932)	Neutrino	Negatón J. J. Thomson (1897)	$M_e$ 0.000548	$9,18 \times 10^{-28}$
	Fotón A. Einstein (1905) Rayos X, Rayos gamma		1 Mev = 0.00107	$1,762 \times 10^{-27}$

**Radiaciones nucleares.**—Las radiaciones procedentes de los diversos procesos radiactivos son:

1. **RAYOS ALFA ( $\alpha$ )** o partículas atómicas, análogos a los núcleos del helio. Estos rayos, al ser emitidos por los núcleos de los átomos con energía cinética elevada, cada núcleo se transforma en otro con cuatro unidades másicas menos y disminución de dos cargas positivas, según comprobaron E. Rutherford y T. Royds (1909) al estudiar sus espectros ópticos.

2. **NEGATONES ( $\beta^-$ )** partículas beta o electrones negativos emitidos por los núcleos atómicos. Su emisión produce otros núcleos con masa sensiblemente igual y una carga positiva más. La identificación de las partículas beta fué debida a las desviaciones grandes que producen en los negatones los campos magnéticos (H. Becquerel, 1900) y eléctricos. En el año 1908 evidenció Bucherer la igualdad cuantitativa de estas partículas con el electrón descubierto por J. J. Thomson en 1897.

Los negatones tienen diversas velocidades, que pueden ser analizadas con los espectrómetros de rayos beta, por

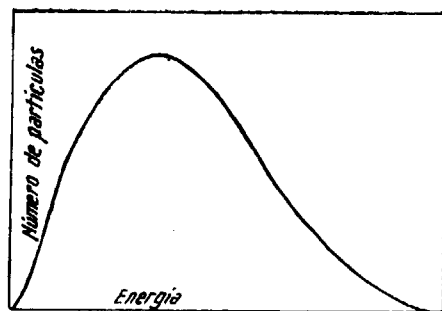


Fig. I-1.—Espectro continuo de radiación beta.

describir los negatones de cada velocidad circunferencias del mismo radio. Entre los espectros de los negatones se deben distinguir dos tipos diferentes. Al primer tipo corresponden los espectros continuos (fig. I-1) u originados por los negatones de los núcleos cuando en ellos se produce el

aumento de una carga, éstos son los denominados propiamente beta. En ellos se observa que el número de partículas pasa por un máximo, correspondiente a un tercio de la energía total. El segundo tipo corresponde principalmente a los elementos pesados que emiten partículas con espectros, que se podían denominar lineales, originados por los electrones de conversión, procedentes de la conversión interna de los rayos gamma nucleares.

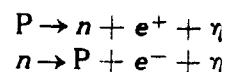
Cada desintegración con radiación beta, es portadora de una energía correspondiente al límite superior de su espectro, en lugar de tener el valor que corresponde a la distribución espectral continua. La masa tan pequeña del electrón, con respecto a la partícula alfa, es causa de que, para la misma energía, tengan las partículas beta un poder de penetración mucho mayor.

3. **POSITONES ( $\beta^+$ )** o electrones positivos, emitidos por los núcleos, con disminución de una unidad en su carga. Esta partícula fué descubierta por C. D. Anderson en 1932, al efectuar investigaciones con una cámara vertical de Wilson. El positrón sólo puede existir libre un tiempo, generalmente inferior al microsegundo, combinándose con los electrones coexistentes, dando lugar a dos cuantos de radiación gamma, fenómeno conocido como aniquilamiento de la radiación.

4. **RAYOS GAMMA ( $\gamma$ )** o radiación electromagnética emitida por los núcleos en el reajuste que se acompaña a la transmutación por emisiones  $\beta^-$ ,  $\beta^+$  o  $\alpha$ , sin que aquella radiación dé lugar en los núcleos a cambios aparentes en masa y carga. Cada uno de estos rayos se emite con una energía determinada, procedente del paso de los núcleos atómicos de un estado energético a otro de menor energía. Sus longitudes de onda son considerablemente menores que las de los rayos X y la energía mucho mayor. Se considera a los descendientes del radio, como los manantiales naturales principales de radiación gamma, singularmente el RaC, hasta el punto de expresar las mediciones de radiación gamma en miligramos de radio, o en su equivalencia en número de desintegraciones, milicurios de radón.

5. **NEUTRINOS ( $\eta$ )**.—Al comprobar por el espectro de la radiación beta una distribución continua de la energía y de acuerdo con el principio de su conservación, se sugirió la necesidad en estas desintegraciones nucleares, de la emisión de una partícula hipotética, denominada neutrino, con

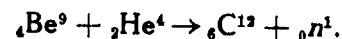
masa menor de la del electrón, sin carga y con energía variable, pero tal que su suma con la energía correspondiente a su partícula beta diese una constante. Esta emisión fué esquematizada por E. Fermi (1934), en las fórmulas



La carencia de carga eléctrica en esta partícula imposibilita su detección por ionización directa, apenas tiene masa y posee un poder grande de penetración.

6. **NEUTRONES ( $n$ )** o partículas inestables con masa 1 (1.00893) y sin carga, producidas en las tramutaciones nucleares. Por la carencia de carga no se pueden detectar por ionización directa y no son acelerables. Se considera al neutrón como una de las unidades fundamentales de la estructura nuclear y es de las partículas descubiertas más recientemente.

Con la dificultad de identificar al neutrón se enfrentaron W. Bothe y H. Becker en 1930, al creer que era parecido a la radiación  $\gamma$ , cuando estudiaron la radiación penetrante producida por el berilio al ser bombardeado por las partículas alfa, con alcance grande del polonio, posteriormente fué clasificada sin carga como se admite actualmente, gracias a los estudios de J. Chadwick, publicados en 1932, quien la atribuyó a la reacción



Por las propiedades que tiene el neutrón se le considera en el campo de la radiactividad, como una de las partículas de mayor importancia. Al ser lanzado el neutrón de un núcleo atómico, tiene emisión  $\beta$  con período de 20 minutos, por lo que no se debe considerar como partícula fundamental.

7. **LOS MESONES.**—Estas partículas son de evolución radiactiva rápida (fracciones de microsegundo) y masa variable; se emiten en los procesos nucleares que ponen en juego energías muy grandes, así como en la radiación cósmica; sus cargas sensiblemente, como la del electrón, pueden ser de uno u otro signo, y están comprendidas entre la de éste y la del protón.

Los mesones fueron sugeridos por H. Yukawa en 1935, y descubiertos en 1936 por C. D. Anderson y S. Nedermeyer, al estudiar la radiación cósmica en la cámara de niebla, donde apreciaron unos trazos densos, correspondientes a una ionización de trayectoria pequeña para ser originada por protones y grande para corresponder a los electrones. A estas partículas se las denominó yukones, mesones, mesotrones, electrones pesados y varitrones. Al primer mesón descubierto ( $\mu$ ) se le denominó ligero, por tener masa inferior al pesado ( $\pi$ ), descubierto por C. F. Powell y sus colaboradores (1948); la relación de sus masas es

$$1.35 < \frac{m_\pi}{m_\mu} < 1.65.$$

**Otras radiaciones.**—Existen otras radiaciones que emiten los átomos, pero que por no proceder de los núcleos no se deben considerar como resultados de las tramutaciones. Estas son:

1. **ELECTRONES DE CONVERSIÓN ( $e^-$ ).**—Emitidos por la conversión fotoeléctrica de rayos gamma en los niveles orbitales del mismo átomo.

2. **RAYOS X.**—Emitidos cuando los electrones orbitales son capturados por los núcleos o expulsados de su lugar para ser reemplazados por electrones de otros niveles.

**Otras partículas.**—Existen partículas que desempeñan un papel fundamental al ser capturadas por los núcleos atómicos estables para transformarse en radiactivos, o de ser emitidas durante los procesos de formación de los núcleos nuevos, tales son, el neutrón, la partícula alfa, el electrón ( $e$ ) y los rayos gamma, descritos anteriormente. Además, se han de tener en cuenta:

1. **LOS PROTONES ( $p$ ).**—O partículas con una carga positiva y una unidad de masa (1.00758), son considerados como uno de los integrantes fundamentales del núcleo atómico, y su número es igual al de cargas del átomo. Rigurosamente el protón no puede admitirse como partícula fundamental, por la posibilidad de transformarse en neutrón por emisión de un positrón. Fueron observados por Goldstein, en 1886, y equivalen a un átomo de protio después de la extirpación del electrón orbital.



2. Los DEUTONES (*d*).—O partículas también con una carga positiva pero con dos unidades másicas, equivalen a un átomo de deuterio después de perdido el electrón orbital. El deuterio es el átomo de hidrógeno de masa 2, sugerido por R. T. Birge y D. Menzel, en 1931, e identificado al año siguiente por H. Urey, F. Brickwedde y G. Murphy.

3. Los TRITONES (*t*).—Junto con las tres unidades másicas tienen en su núcleo una carga positiva. El tritio es un hidrógeno radiactivo, que se puede obtener artificialmente, su actividad es  $\beta$  con período del orden de 12,46 años y 18,5 Kev.

### 1-3. Los núcleos atómicos

En cada átomo se distinguen dos números que lo caracterizan. El ordinal *Z*, que indica el de protones o cargas positivas del núcleo, sirve para situar al núcleo en la tabla periódica y reconocer su comportamiento químico. A cada valor de *Z* le corresponde una denominación y un símbolo; su valor es representado en la parte inferior de la izquierda del símbolo.

El número másico *A* se refiere a la suma del número de protones y de neutrones del núcleo o unidades másicas y se escribe en la parte superior y a la derecha del símbolo.

Los núcleos de los átomos desempeñan un papel fundamental, desde el punto de vista de la radiactividad; en ellos reside casi totalmente la masa y las cargas positivas, los diámetros son del orden de  $10^{-13}$  cm., mientras que los de los átomos son de  $10^{-8}$  cm.; en este espacio, casi vacío, se encuentran los electrones distribuidos en sus órbitas K, L,.... Como se ve, hay tres únicos elementos que constituyen los átomos, que son los electrones, neutrones y protones; estos dos últimos también se denominan nucleones; a los primeros, así como a las partículas ligeras, se les conoce por leptones.

El proceso radiactivo se debe al paso de un núcleo atómico de una situación inestable a otra de mayor estabilidad. Éste puede ocurrir desde el simple neutrón en esta-

do libre que se supone transformable en un protón por captura de un electrón orbital, para dar lugar al elemento químico más sencillo o hidrógeno, hasta los originados en los complicados átomos transuránidos con sus emisiones beta y alfa.

Si se revisan los elementos sencillos, se adquiere rápidamente el concepto de isotopía o átomos con igual número atómico *Z* y diferente másico *A*. Al denominar hidrógeno a todos los elementos que tienen un electrón orbital, se puede apreciar la existencia de tres variedades de hidrógeno. La primera, más sencilla, consiste en un núcleo como el del protón, con su electrón cortical, también se la denomina protio. La segunda tiene el núcleo con dos unidades másicas, pero como sólo ha de tener una carga positiva, se ve la necesidad de que exista la partícula denominada neutrón, que, con el protón, forma su núcleo denominado deuterón. La variedad de hidrógeno integrada por el deuterón y el electrón cortical se denomina deuterio. A los constituyentes de esta pléyade de hidrógenos se denomina isótopos, por tener todos sus componentes el mismo número ordinal *I*.

Así como el protio y el deuterio son estables, existe otro hidrógeno denominado tritio, que tiene radiactividad beta debido al paso de uno de los dos neutrones que constituye su núcleo a protón. El nuevo núcleo tiene dos cargas positivas, y el proceso evidencia la transformación del tritón en un núcleo de helio de tres unidades másicas.

Estos átomos de He<sup>3</sup> y H<sup>3</sup>, que tienen igual número másico *A*, pero diferente número ordinal *Z*, se denominan isómeros. Asimismo, existe el helio común, con cuatro unidades másicas, por tener dos neutrones y dos protones en el núcleo, por sucesiva captura de neutrones, da lugar a otros helios, pero en el momento que las unidades másicas son seis, o sea que contiene cuatro neutrones, el núcleo formado pierde la estabilidad y aparece la radiactividad beta, para dar lugar a la evolución a litio (fig. 1-2).

En los elementos naturales, como el K<sup>40</sup>, existe la actividad beta antes indicada para generar el Ca<sup>40</sup>, debido al paso probable de un neutrón a protón, probabilidad que es función de las condiciones en que se encuentran los neutrones, grande cuando están libres y pequeña cuando se integran en los núcleos de los átomos estables.

El K<sup>40</sup> tiene, asimismo, otra actividad natural denominada captura K, para dar lugar al A<sup>40</sup>, o sea que la transformación tuvo lugar, por paso a un protón del núcleo, de un electrón cortical de las capas interiores del átomo.

Algunos átomos de número atómico elevado, y algunos de número mediano, como el  $\text{Sm}^{147}$ , emiten partículas alfa debido a su tendencia natural a que dos neutrones, e igual número de protones, se asocien formando un nuevo núcleo. Cuando las distancias internucleares son pequeñas,

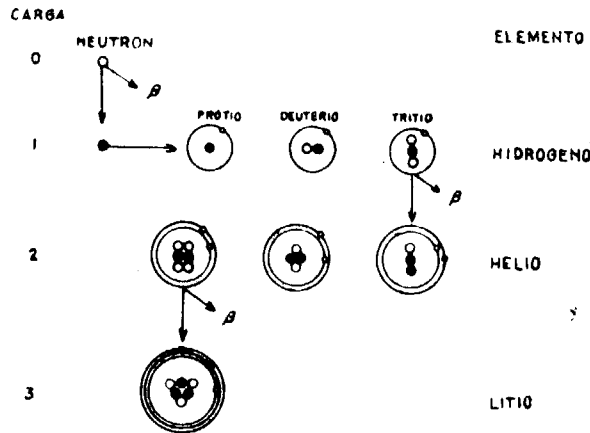
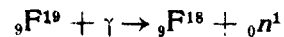


Fig. 1-2.—Proceso figurado de formación de los elementos por sucesivas aportaciones de neutrones.

se mantiene el edificio por las leyes de atracción, pero al aumentar éstas, son repelidos por la ley de Coulomb, debido a que las cargas son del mismo signo.

Como consecuencia de las emisiones indicadas, es necesario la reorganización de los núcleos que se forman, dando lugar, en muchos casos, a la emisión de rayos gamma, fenómeno que se pone en evidencia al seguir un proceso contrario, o sea al someter un núcleo a la acción de rayos gamma de energía alta, que deja en libertad un neutrón, pasando el átomo a un isótopo suyo de una unidad másica menos,



Existen átomos que, aparentemente, son iguales, por tener idénticos los números A y Z, pero dan lugar a emisiones diferentes, como ocurre con los de  $\text{ThC}$ , de los cuales 33,7 % tienen emisión alfa, para dar lugar al  $\text{ThC}'$ , y el 66,3 % restante, por emisión beta, se transforma en  $\text{ThC}'$ . La única diferencia que existe entre estos átomos del  $\text{ThC}$

es en su estado energético y recibe la denominación isómeros.

De los núcleos atómicos conocidos hasta la fecha, existen cerca de 300 estables diferentes; el resto son inestables, figurando entre éstos pléyades completas de isótopos, como son las del tecnecio, promecio y los de Z mayor de 82.

#### I-4. Leyes matemáticas

Los átomos de las sustancias radiactivas evolucionan hacia otros elementos, siguiendo leyes estadísticas, con desprendimiento de energía bajo las diversas formas de radiaciones descritas. Según esta idea, cuando una sustancia tiene una probabilidad elevada de evolución, se dice que es muy radiactiva, mientras que si la probabilidad es pequeña, la sustancia es poco radiactiva.

**Ley general de desintegración.**—Para establecer la ley de desintegración, se representa por  $Nt$  el número de átomos que tuviese un elemento de una muestra en el momento  $t$ , letra que indica el tiempo transcurrido desde la formación o preparación del elemento origen de los fenómenos radiactivos, por ser este momento el que se toma como punto de partida para los tiempos. La letra  $\lambda_N$ , característica de cada núcleo, representa la constante de desintegración o probabilidad de que un átomo del elemento considerado se transforme en la unidad de tiempo. También recibe el nombre de probabilidad de transformación, y se expresa en tiempos recíprocos. La ecuación diferencial de la evolución es

$$dN = -\lambda_N \times N \times dt \quad (I-1)$$

por ser ésta directamente proporcional a la probabilidad de transformación, número de átomos y tiempo. En esta fórmula, el signo menos es debido a la constante disminución, con el tiempo, del número de átomos del elemento al que se deben los fenómenos radiactivos; resuelta da

$$\ln N_t = \lambda_N \times t + C. \quad (I-2)$$

Si se representa por  $N_0$  el número de átomos en el instante inicial, como no ha transcurrido tiempo alguno, se deduce de la ecuación anterior (I-2) al hacer  $t = 0$ , para que la ecuación quede satisfecha se ha de verificar

$$\ln N_0 = C. \quad (I-3)$$

y después de sustituir este valor de  $C$  en la fórmula general (I-1), se obtiene

$$\ln N_t = -\lambda_N \times t + \ln N_0 \quad (I-4)$$

donde  $\lambda_N$  es el coeficiente angular de la recta que corresponde, en representación semilogarítmica, al decrecimiento de  $\ln N_t$  en función de  $t$ . La misma fórmula (I-4) en forma exponencial es

$$N_0 = N_t \exp(\lambda_N \times t) \quad (I-5)$$

denominada ecuación fundamental, ley a la que se sujetan los procesos de desintegración de un preparado, que se desactiva con una transformación y fué establecida experimentalmente con los estudios de radiactividad natural.

El número de átomos  $m$  que se ha transformado en el tiempo  $t$ , es igual a la diferencia de los que existían en el momento inicial de la evolución y en el considerado, es

$$m = N_0 - N_t = N_t [\exp(\lambda_N t) - 1] = N_0 [1 - \exp(-\lambda_N t)] \quad (I-6)$$

**Relación entre las constantes radiactivas.**—En las tablas de constantes suelen figurar, además de la probabilidad de transformación  $\lambda_N$  la vida media o duración de cada átomo  $L_N$  y el período  $T_N$  o duración de transformación de la mitad de los átomos de un elemento, todas ellas relacionadas por la fórmula

$$L_N = \frac{1}{\lambda_N} = \frac{T_N}{\ln 2} \quad (I-7)$$

que se va a razonar.

El número de átomos que se transforma en el tiempo  $dt$ , es igual al producto del número total de los existentes por la probabilidad de transformación y por el tiempo transcurrido.

$$N_t \times \lambda_N \times dt = N_0 \times \exp(-\lambda_N t) \times \lambda_N \times dt \quad (I-8)$$

El tiempo  $\theta$ , vivido por todos los átomos, se obtiene por la integración entre  $0$  e  $\infty$  de la expresión anterior, multiplicada por el valor del tiempo  $t$  vivido por cada uno de ellos.

$$\theta = \int_0^{\infty} t \times N_0 \times \exp(-\lambda_N t) d\lambda_N t = \frac{N_0}{\lambda_N} \quad (I-9)$$

La vida media de los átomos la da el cociente de la vida total entre el número de éstos.

$$L_N = \frac{\theta}{N_0} = \frac{1}{\lambda_N} \quad (I-10)$$

o sea que la vida media es el valor recíproco de la probabilidad de transformación.

Si en la fórmula (I-5) se hace

$$N_t = \frac{N}{2}$$

el tiempo transcurrido será igual al período

$$N_0 = \frac{N}{2} \cdot \exp(\lambda_N T_N) \quad (I-11)$$

de donde

$$2 = \exp(\lambda_N T_N) \quad (I-12)$$

al expresar logarítmicamente

$$\lambda_N T_N = \ln 2 \quad (I-13)$$

y en general

$$L_N = \frac{1}{\lambda_N} = \frac{T_N}{\ln 2} \quad (I-14)$$

**Fórmulas para cadenas de emisiones.**—En las familias radiactivas naturales, como las del  $U$ ,  $AcU$  y  $Th$ , el problema no se reduce a una simple emisión; cada átomo da lugar, por desintegración, a otros elementos

también radiactivos, originando una cadena de emisiones; las fórmulas que tienen que aplicarse para estos casos múltiples son diferentes y fueron deducidas por Rutherford. Si los tipos de átomos que se desintegran son A, B y C sus constantes de desintegración diferentes  $\lambda_A$ ,  $\lambda_B$  y  $\lambda_C$ , el número de átomos en el momento inicial  $A_0$ ,  $O$  y  $O$ , después de transcurrido el tiempo  $t$ , el número de átomos existentes se representa por  $A_t$ ,  $B_t$  y  $C_t$ . Los valores de A están relacionados por  $A_t = A_0 \exp(-\lambda_A t)$ .

La evolución de los átomos A en B está dada por la ecuación

$$\frac{dA_t}{dt} = -\lambda_A \times A_0$$

y para obtener el incremento de los átomos B se deben restar de los formados los que se transforman en C, que son  $B_t \lambda_B$ , de donde

$$\frac{dB}{dt} = \lambda_A A_t - \lambda_B B_t \tag{I-15}$$

de manera análoga

$$\frac{dC}{dt} = \lambda_B B_t - \lambda_C C_t \tag{I-16}$$

Pero

$$\frac{dB}{dt} = \lambda_A \times A_0 \times \exp(-\lambda t) - \lambda_B \times B_t \tag{I-17}$$

resolviendo

$$B_t = \frac{\lambda_A \times A_0}{\lambda_B - \lambda_A} [\exp(-\lambda_A t) - \exp(-\lambda_B t)] \tag{I-18}$$

Este valor alcanza su máximo cuando

$$t = \frac{\ln \lambda_A - \ln \lambda_B}{\lambda_A - \lambda_B} \tag{I-19}$$

Valor sumamente interesante por indicar el tiempo mínimo para que una activación alcance el máximo, por

ejemplo, el tiempo necesario para que un filete acuífero esté en contacto con la roca que contenga radio para alcanzar el máximo de actividad inducida. Si se ha de establecer con el Tn y el An será suficiente tres horas, mientras que para el Rn se requieren tres días.

Si se quiere determinar la proporción del tercer elemento C de la cadena, en función de  $A_0$  es necesario resolver la ecuación diferencial de C (I.16) después de haber sustituido B por su valor (I.18) en función de  $A_0$

$$\frac{dC}{dt} = \frac{\lambda_A \lambda_B A_0}{\lambda_B - \lambda_A} [\exp(-\lambda_A t) - \exp(-\lambda_B t)] - \lambda_C C \tag{I-20}$$

de donde

$$C = A_0 \times \lambda_A \lambda_B \left[ \frac{\exp(-\lambda_A t)}{(\lambda_B - \lambda_A)(\lambda_C - \lambda_A)} + \frac{\exp(-\lambda_B t)}{(\lambda_A - \lambda_B)(\lambda_C - \lambda_B)} + \frac{\exp(-\lambda_C t)}{(\lambda_A - \lambda_C)(\lambda_B - \lambda_C)} \right] \tag{I-21}$$

y así sucesivamente, para más elementos de la cadena. Al observar el número de átomos de un elemento de la cadena, se ve cómo llega a estabilizarse, o sea, que se producen en la misma cantidad que se desintegran, denominándose a esta circunstancia equilibrio radiactivo, que está dado para dos elementos por

$$\lim \frac{B_t}{A_t} = \lim \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} [1 - \exp(t(\lambda_A - \lambda_B))] = \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} \tag{I-22}$$

y en el caso de M cuerpos se tiene por la fórmula

$$\lim \frac{M_t}{A_t} = \frac{\lambda_A \lambda_B \lambda_C \dots \lambda_M}{(\lambda_B - \lambda_A)(\lambda_C - \lambda_A) \dots (\lambda_M - \lambda_A)} \tag{I-23}$$

que da el estado de régimen entre el elemento A y sus derivados hasta el M.

Este caso se presenta en el equilibrio radiactivo del radio en los criaderos de uranio; el momento en que se alcanza lo da el valor de  $t$ , que anula  $\frac{dM}{dt}$  y la proporción

el límite de  $\frac{M_t}{A_t}$  (I-23).

En la práctica, el problema es más fácil por poderse despreciar la probabilidad de la transformación del radio frente a la del uranio y no necesitarse tener en consideración los elementos intermedios. El equilibrio entre el  $U^{238}$  y el  $Ra^{226}$  en una muestra que se prepara ahora, será alcanzado cuando hayan transcurrido

$$\frac{\ln \lambda_{U1} - \ln \lambda_{Ra}}{\lambda_{U1} - \lambda_{Ra}} = 1,139 \times 10^{12} \text{s.} \approx 34.000 \text{ años}$$

y la proporción en que ambos estarán será

$$\frac{\lambda_{U1}}{\lambda_{Ra}} = \frac{4,82 \times 10^{-18}}{1,30 \times 10^{-11}} = 3,7 \times 10^{-7}$$

o sea 0.37 gramos de radio por tonelada de uranio que contenga el mineral.

Una variedad del caso general descrito, se presenta cuando a un producto se le incorpora un elemento radiactivo en equilibrio radiactivo con su predecesor y cesa repentinamente esta incorporación, como ocurre en la activación inducida de las aguas por emanación, según muchos ejemplos que existen en España, en las que está alcanzado el equilibrio radiactivo desde el Rn al RaC'', y se desee saber la marcha de la desintegración. Como ejemplo de estos manantiales se puede citar, por ser el de mayor actividad en España, el de Los Barrancos, en Valdemorillo, que dió en 1923 al Dr. Díaz de Rada una actividad de 218  $\mu\text{C/l.}$  cantidad que se redujo a menos de la décima parte, con motivo de las obras que efectuaron sus propietarios para aumentar su pequeño caudal, según pudimos comprobar en las mediciones que efectuamos en 1944, en que daba el manantial E. un caudal de 1,2 l/m. y el manantial O. solamente 0.5 l/m. De este hecho, surge ante nosotros la insuficiencia del conocimiento radiactivo de un manantial, al no conocer los dos datos indispensables, radiactividad específica del agua y caudal, con ellos se sabe la emanación disponible, por esta razón introdujo Franke el concepto de potencia radiactiva, que es el producto de la actividad unitaria por el caudal. En este caso se toma como origen de los tiempos el momento en que cesó la coexistencia del producto activante con el elemento que da lugar al que activa. Se denomina  $h_1$  el número de átomos del elemento cabeza de desintegración A producidos en la unidad de tiempo, y al designar por el subíndice E

la concentración de equilibrio de los diversos elementos de la cadena, se tiene

$$h_1 = \lambda_A A_E = \lambda_B B_E = \lambda_C C_E \quad (I-24)$$

Al cesar la aportación de A

$$A_0 = A_E = \frac{h_1}{\lambda_A}, B_0 = B_E = \frac{h_1}{\lambda_B}, C_0 = C_E = \frac{h_1}{\lambda_C} \quad (I-25)$$

de acuerdo con la ecuación fundamental se tiene

$$A_t = A_0 \times \exp(-\lambda_A t) = \frac{h_1}{\lambda_A} \exp(-\lambda_A t) \quad (I-26)$$

con un criterio análogo se establecen:

$$B_t = \frac{h_1}{\lambda_B (\lambda_A - \lambda_B)} \lambda_A \exp(-\lambda_B t) - \lambda_B \exp(-\lambda_A t) \quad (I-27)$$

$$C_t = h_1 \left[ \frac{\lambda_B}{(\lambda_B - \lambda_A)(\lambda_C - \lambda_A)} \exp(-\lambda_A t) + \frac{\lambda_A}{(\lambda_A - \lambda_B)(\lambda_C - \lambda_B)} \exp(-\lambda_B t) + \frac{\lambda_A \lambda_B}{\lambda_C (\lambda_A - \lambda_C)(\lambda_B - \lambda_C)} \exp(-\lambda_C t) \right] \quad (I-28)$$

Igualmente se pueden establecer fórmulas para casos particulares, como ocurre cuando, durante cierto tiempo, se aporta a un producto un elemento radiactivo radiogénico y cesó el contacto con su antecesor antes de alcanzar el equilibrio radiactivo.

Interesa conocer, en el caso indicado de las aguas, el proceso de desactivación, contrario al de activación, así como en éste la proporción de los átomos activos sigue las leyes exponencial  $1 - \exp(-\lambda_A t)$ , es decir, una función creciente, en el de desactivación es decreciente y de forma general  $\exp(-\lambda_A t)$ . (Fig. I-3.)

El proceso de desactivación de algunas aguas naturales, como la del manantial Fernando, de La Toja, se aparta del caso general indicado y da curvas con pérdidas de actividad menores a la que corresponde a una evolución normal de la emanación, debido a la coexistencia de ra-

dio metálico y emanación disuelta, habiéndose apreciado cantidades notables de torio y radio, en algunos lodos que hemos estudiado, procedentes de manantiales de La Toja.

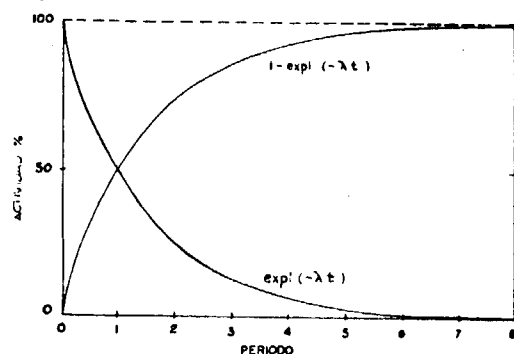


Fig. 1-3.—Proceso de activación por generación de un elemento radiogénico y proceso de desactivación de un elemento radiactivo.

### 1-5. Patrones y unidades radiactivas

**Patrones de radio.**—Considerado el radio con sus descendientes RaB y RaC, como elemento primordial desde el punto de vista de emisor de radiaciones gamma, surgió la idea de tomar este elemento como patrón de las mediciones radiactivas. No era suficiente que cada investigador preparase su patrón de radio, por las dificultades de conocer la cantidad de radioelementos que contenía, así como de las impurezas que con él se asociaban; esta dificultad creció con el aumento de sus aplicaciones clínicas, e indujo a establecer un patrón según el acuerdo del Congreso de Radiología y Electricidad de Bruselas (1910) y que llegó a tener realidad en la reunión de París, de 1912, de la Comisión Internacional del Patrón de Radio. En el patrón internacional de radio, preparado por M. Curie, existían 21,99 mg. RaCl<sub>2</sub> anhidro, exento de torio, procedente de las pezblendas de S. Joachimstahl, contenidos en un tubo de vidrio de 32 mm. de largo, 1,45 mm. de diámetro y 0,27 mm. de espesor de las paredes. Este patrón destinado a la comparación con los secundarios,

debe conservarse en Sevres, en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, aunque con ocasión de la IX Conferencia General, donde asistí como Delegado español, no pude ver por encontrarme, en aquel entonces, en París, en el Instituto de Radio. A los patrones de radio es necesario efectuar sus correspondientes correcciones por tener una pérdida anual por desintegración natural del 0,046 %.

**Otros patrones.**—Para que una medida se efectúe con precisión, es conveniente que el patrón utilizado tenga las mayores analogías posibles con la muestra que se mide, como son: tipo de la emisión, energía de la emisión, desintegraciones observables por unidad de tiempo, etcétera, por lo que sería ideal efectuar las mediciones con átomos análogos a los que se miden. Para las mediciones alfa se puede utilizar como patrón el UI, del cual se conocen sus emisiones por unidad de tiempo, así como las beta del UX<sub>2</sub> en equilibrio radiactivo. A este patrón, cuando se emplea para valorar emisiones beta, se le pone un filtro de aluminio de 25 mg/cm.<sup>2</sup> con el objeto de retener las alfa y las betas débiles del UX<sub>1</sub>. El patrón, antes mencionado, tiene la ventaja de no tener merma apreciable por el periodo elevado del UI. Existen otros patrones comerciales, tanto para radiactividad natural como artificial, unos, naturales como el RaE, y otros, artificiales, como el Co<sup>60</sup> y C<sup>14</sup>.

**Gramo de radio.**—En la práctica se ven valoraciones expresadas en gramos del elemento radio o en su submúltiplo el miligramo. Se valoraban, al principio, por métodos gravimétricos y servían, después, para valoraciones por comparación de la radiación gamma de la muestra con la del patrón, utilizando el mismo aparato, filtros y condiciones operatorias.

**Curio.**—Se denomina curio a la cantidad (masa) de radón en equilibrio radiactivo con el gramo de radio, emite  $3,69 \times 10^{10}$  partículas alfa en un segundo, también se admite convencionalmente un carácter internacional y con impropiedad, como la cantidad de cualquier núcleo radiactivo, que durante un segundo experimente la desintegración de  $3,7 \times 10^{10}$  átomos.

De acuerdo con la definición, el curio tiene el mismo número de desintegraciones por unidad de tiempo que un gramo de radio y el gas necesario para materializarlo a

0° C y 760 mm. de mercurio, tiene un volumen de 0.66 mm.<sup>3</sup> y un peso de  $6,52 \times 10^{-6}$  gr. Como datos complementarios, es interesante saber que un gramo de radio produce, por hora,  $7,55 \times 10^{-8}$  curios.

La Comisión Internacional de Radio se opuso, en 1931, a la utilización del curio en las mediciones de las familias del actinouranio y del torio.

Se usan como submúltiples el mili, micro y milimicro curio.

**Rutherfordio.**—Se denomina rutherfordio (rd.) a la cantidad de elementos radiactivos que produce  $10^6$  desintegraciones por segundo. Esta unidad fué propuesta por Condon y Curtiss, en 1946, con objeto de poder efectuar mediciones de cualquier elemento radiactivo que sean comparables. La relación entre el rutherfordio y el milicurio es del orden de 1/37. Los múltiplos y submúltiplos de esta unidad son megarutherfordio (Mrd.), kilorutherfordio (Krd.), milirutherfordio (mrd.) y microrutherfordio ( $\mu$ rd.), donde los prefijos tienen la significación clásica. El último submúltiplo corresponde a una desintegración por segundo.

**Roentgenio.**—El roentgenio (r.) es una unidad convencional (Chicago, 1937), que se define, como la cantidad de radiación X o gamma, cuya emisión corpuscular asociada por 0.001293 gr. de aire, produce en el mismo, iones que llevan una unidad electrostática de cantidad de electricidad de uno u otro signo. Con la aplicación de equivalencias físicas se define como la cantidad de radiación que produce  $2,083 \times 10^9$  pares de iones por cm.<sup>3</sup> de aire a 0° C y 760 mm. de Hg que corresponde a  $1,61 \times 10^{12}$  pares de iones en un gramo de aire.

Esta unidad, propuesta por los radiólogos, independiente del tiempo, sólo mide la cantidad de ionización que producen en el aire los electrones secundarios formados por las colisiones de los electrones con las moléculas de aquél, y está basada en la absorción de energía por unidad de volumen o dosis, por ser función de dicha absorción el efecto biológico. Sólo debe aplicarse a las radiaciones gamma y roentgen, no dando indicación alguna sobre la calidad de la radiación o energía del fotón, ni sobre la intensidad o energía incidente por unidad de superficie y de tiempo.

**Roentgenio por hora a un metro.**—La unidad roentgenio por hora a un metro (rhm) corresponde a la dosis de un r. durante una hora y a un metro de distancia.

**Roentgenio equivalente físico.**—La unidad roentgenio equivalente (re.) idéntica al roentgenio equivalente físico (rep.) introducida por Parker (1947), ligada a los problemas de protección del personal, es algo aproximada y tiene por objeto medir los efectos radiobiológicos producidos por radiaciones ionizantes en comparación con el producido por radiaciones gamma o roentgen.

Se considera como unidad (rep.), la energía perdida por ionización en el tejido, análogo a la que produce un r. de radiación gamma absorbida en el aire.

**Roentgenio equivalente biológico.**—El roentgenio equivalente biológico (rem.), corresponde a la cantidad de energía absorbida de cualquier radiación, por un tejido biológico del hombre (mamífero), que produce el mismo efecto que un r. de radiación gamma o roentgen.

Los valores asignados corrientemente para equivalencias de las diferentes radiaciones son:

Rayos gamma y beta...	1 rep.	= 1 rem.
Rayos alfa .....	0.1 rep.	= 1 rem.
Neutrones rápidos.....	0.2 rep.	= 1 rem.

**Unidades n.**—Para medir la ionización de los tejidos orgánicos por el impacto de los neutrones rápidos en su hidrógeno, se ha propuesto la unidad *n*, y en las medidas efectuadas en cámara de baquelita, equivale a un r., lo que, en el cuerpo humano, es análogo, aproximadamente, a 2,5 rep.

Existe una serie de unidades, actualmente en desuso, que deben ser conocidas, principalmente por los investigadores que estudian los manantiales minero-medicinales, por existir muchas valoraciones radiactivas expresadas en estas unidades.

**Miligramo-segundo de radio.**—Se denomina miligramo-segundo, a la cantidad de emanación rádica desprendida por un mg. de radio durante un segundo.

**Mache.**—La unidad mache es de concentración, y se trata de una medida para comparación de actividad alfa. Se define como la concentración de emanación, tal que por litro (muestra líquida o gaseosa) producen sus partículas alfa, utilizando completamente su poder ionizante, una corriente de saturación de  $10^{-8}$  unidades electrostáticas. Para pasar a curios contenidos por litro se puede utilizar como coeficiente  $3,64 \times 10^{-10}$ .

**Eman.**—Se denomina eman a la unidad que indica una concentración de  $10^{-10}$  curios por litro.

**Voltio hora litro.**—Al considerar los instrumentos electrostáticos como condensadores se les puede aplicar la fórmula  $i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{c(V_1 - V_2)}{t}$  que relaciona la corriente de ionización, pérdida de potencial, capacidad y tiempo. Esta unidad depende del aparato que se utiliza, y para los fontactoscopios Engler y Sieveking, que se usaron frecuentemente en España, cada voltio hora litro es del orden de 4 a 5 milésimas de milimicrocurio.

**Urania.**—La unidad utilizada para las primeras prospecciones que se efectuaron de minerales radiactivos, fué la urania. Se toma como unidad para una misma superficie e igualdad de condiciones, la ionización producida por la emisión alfa de un óxido de uranio, generalmente el  $UO_2$  negro; teóricamente debe estar exento de UX para evitar la influencia de las emisiones beta.

## 1-6. Medición de las radiaciones

La medición de la radiactividad de un ejemplar es función de su probabilidad de transformación; por lo tanto, cuando ésta es pequeña,  $10^{-18} \text{ s.}^{-1}$ , se necesita mayor cantidad de elemento radiactivo que cuando es grande,  $10^9 \text{ s.}^{-1}$ , lo que permite pasar de millones de átomos a centenas de ellos para poder efectuar las medias.

En la práctica de las mediciones se pueden distinguir tres circunstancias, que son: estado físico de la muestra, acción y radiación utilizada.

**Estado físico.**—Las mediciones de los diversos ejemplares se efectúan, en general, por el poder ionizante con contadores Geiger-Müller, pero en el caso de las familias largas, se ha de tener en cuenta el estado de la muestra para ver el criterio a seguir.

Según el estado físico, la muestra que se pretende medir puede ser sólida, líquida o gaseosa.

1. **SÓLIDOS.**—Cuando las medidas de la actividad de una muestra sólida, mineral, producto químico o precipitado se efectúan como orientación, con emisiones alfa, se recurre a la comparación de la ionización producida por una superficie análoga de un patrón de óxido de uranio.

Si se trata de determinar el contenido en radio, se han de distinguir dos casos: Que el preparado contenga ese elemento en cantidad del orden de mg., y entonces se efectúa la medición sin sacarlo de su envoltura, por la radiación gamma del RaC, o que sea un mineral o roca, con pequeño contenido en radio. En este segundo caso, se disuelve o funde la sustancia y se la deja producir radón durante cierto tiempo, por ser la emisión alfa de este gas, o las de sus descendientes RaA y RaC, las utilizadas para la medición que alcanzan el equilibrio a las cuatro horas, tiempo que ha de transcurrir desde la captura del Rn hasta que se efectúan las lecturas.

2. **LÍQUIDOS.**—Los líquidos suelen tener dos actividades, una denominada inducida, debida a emanación rástica en disolución, y otra fija y sensiblemente constante, originada por un equilibrio entre la emanación que se crea y destruye, que es debida al radio disuelto, como ocurre en el manantial Fernando, de La Toja.

Para medir la actividad inducida, se hace la extracción del radón, bien por ebullición o barboteo de un gas inactivo, efectuándose la medida en el producto extraído.

En el líquido restante se efectúa la medición de la actividad fija, como se indicó anteriormente.

3. **GASES.**—La medida de la actividad de los gases puede efectuarse, o bien por la radiación alfa, sensible para pequeñas cantidades de las emanaciones, o si la cantidad de este elemento lo permite, por la radiación gamma del RaC a través de las paredes finas del recipiente que lo contiene, para lo cual es necesario esperar a que éste se produzca en cantidad suficiente.



**Acciones.**—Las acciones utilizadas se clasifican en fotográfica, fluorescente, impelente, condensante, calorífica, ionizante, química, biológica, etc. De todas éstas, las que se utilizan principalmente para valoraciones de precisión son las ionizantes.

I. **ACCIÓN FOTOGRAFICA.**—La acción fotográfica de la radiactividad es la más interesante de todas desde el punto de vista histórico, por haber sido el cimiento de los famosos descubrimientos de Becquerel, cuando trabajaba con sales de uranio. Para reconocer la actividad de una sustancia, es suficiente envolver la emulsión fotográfica con un papel negro y poner la muestra muy cerca o en contacto con el papel que cubre la cara sensible. Las radiaciones emitidas por la muestra atraviesan la envoltura, destinada a evitar la acción química (las alfa pueden quedar retenidas por la envoltura), y produce una impresión sensible, denominada autorradiografía, sumamente útil para localización de las partes activas de la muestra. El ennegrecimiento depende del tiempo de exposición y varía, del orden de decenas de segundo para las sales de radio, a varios meses para menas potásicas.

La técnica fotográfica, sumamente sencilla, se extendió después a los estudios radiobiológicos, habiéndose obtenido autohistorradiografías sumamente útiles para seguir la distribución relativa de los elementos radiactivos en los organismos.

El aumento de las aplicaciones de la acción fotográfica, ha conducido a la preparación de emulsiones fotográficas especiales, más sensibles que las corrientes y carentes de fondo, a base de incrementar el halogenuro de plata del orden de 10 veces para la misma cantidad de gelatina, con el inconveniente de que el aumento del gramo empeora la resolución.

La identificación de la radiación gamma, por tener un poder penetrante elevado, requiere exposiciones de más duración que para el reconocimiento de las emisiones beta y alfa, por actuar éstas sobre un número mayor de gránulos de plata. La detección de la emisión de partículas alfa requiere, en algunos casos, que la superficie de la muestra sea perfectamente plana, y haga buen contacto con la emulsión fotográfica.

El alcance de las partículas alfa en el agua y tejidos biológicos, pasa de unos centímetros a decenas de micrones, lo que da una mejor resolución en las radiografías con alfa que con beta. Existe una fórmula aproximada que

da el alcance teórico en los diversos medios, que es, alcance en el aire por su densidad, es igual al alcance en emulsión, tejido, etc. por su densidad.

Por la acción fotográfica, se puede reconocer en un espectrógrafo de masas, si alguno de los isótopos aislados es radiactivo, como ocurrió con la actividad alfa del samario (181). Para ello se deja expuesta durante varios meses la emulsión fotográfica, en la que previamente se depositaron diversos isótopos, impresionándose solamente en el lugar correspondiente al supuesto isótopo radiactivo. También se puede identificar en muestras de rocas y minerales los lugares donde existen puntos con actividad. La acción fotográfica sirve también para numerar partículas alfa, medida de constantes como en el ThC y se aplica para la numeración de protones, deutones, heliones y, en general, partículas de excisión nuclear.

La acción fotográfica además de su sencillez, tiene ventajas muy útiles, como son: Eliminación del fondo cósmico, por la posibilidad de distinguir los diferentes tipos de partículas. Determinación cuantitativa de radiaciones muy débiles. Distinción del alcance de las partículas alfa y, por consiguiente, su origen del torio y del uranio, por quedar registradas las trayectorias. Posibilidad de localizar inclusiones radiactivas de dimensiones microscópicas.

Un inconveniente, como método de computación, es el tener que numerar subjetivamente los gránulos impresionados, por medio de un microscopio de aumento grande, por lo que se tiende a derivar esta técnica hacia los métodos de medida de densidad de ennegrecimiento, de uso corriente en espectrografía.

2. **FLUORESCENTE.**—La acción fluorescente como la fotográfica, es útil para la detección de sustancias radiactivas. La técnica se funda en la propiedad que tienen los cristales de sulfuro de cinc, de emitir energía luminosa cuando inciden sobre ellos las radiaciones de los cuerpos activos.

El aparato más elemental fundado en este principio es el espintariscopio, consistente el de W. Crookes (1903) en una cara plana de blanda sometida a la acción de las partículas alfa, que excitan en el punto de choque con la blanda la fluorescencia del mineral, perfectamente detectable si se examina por medio de una lente adecuada. Con este instrumento se pone de manifiesto la existencia de cada partícula alfa, no siendo posible la computación directa de las beta y rayos gamma, por dar éstas al microscopio la sensación de un fondo luminoso continuo.

La técnica directa de los destellos tiene desventajas importantes, como son la variación de la agudeza visual del observador, fatiga de los ojos, imposibilidad de computación si los destellos son muy rápidos y necesidad de períodos largos de recuento, para conseguir estadísticamente valores aceptables.

Con el desarrollo industrial de las células de emisión secundaria y de las nuevas sustancias luminiscentes, han vuelto a tener actualidad las aplicaciones de la acción fluorescente para mediciones radiactivas, empleándose ahora para radiaciones  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y neutrones rápidos; para cada uno se utilizan cristales especiales. Son de sulfuro de cinc para los alfa, de fósforo especiales para los beta, de antraceno y naftaleno para las radiaciones gamma, con la ventaja de los cristales orgánicos de ser transparentes para las radiaciones fluorescentes, lo que les permite aumentar el espesor atravesado por las radiaciones gamma sin el inconveniente de la pérdida de sensibilidad.

En este año se ha conseguido, por una importante casa de Boston, la construcción en serie de aparatos muy perfeccionados, orientados en este principio, para la medición de radiaciones gamma y partículas alfa y beta, adaptados posteriormente para el estudio de la radiación cósmica, protones y neutrones.

Cada aparato consta de dos partes esenciales: La primera contiene un material fluorescente o fosforescente sólido o líquido, que transforma la energía incidente en luz, al llegar a la sustancia fosforescente las partículas alfa u otras radiaciones, con una duración de cada destello de 10  $\mu$ s. La segunda transforma el destello luminoso en electricidad accionando una célula de emisión secundaria, por convertir los fotones correspondientes a la luz en un charrón de fotoelectrones, consiguiendo amplificaciones de  $10^6$ , con el objeto de poder accionar fácilmente la escala computadora.

Este instrumento, además de su sencillísima construcción, tiene la ventaja de eliminar el recinto cerrado de los tubos de Geiger y cámaras de ionización, ya que el fósforo se deposita en un disco plástico, recubierto como medio protector por una lámina de aluminio de 1,5 mg/cm<sup>2</sup>. Este filtro ofrece poca absorción a las partículas, proporciona un medio opaco a la luz y se puede recambiar cuando se contamina.

Fundados en la acción fluorescente, se construyen detectores de radiación gamma muy eficientes, para detectar esta radiación, pero no aptos todavía para fines cuantitati-

vos, muy útiles para localizar pequeños núcleos radiactivos con una sensibilidad elevada. Son prácticos para detección de partículas beta de energía baja, por poderse depositar la sustancia directamente en la cara del cristal.

Con este fin se usan sustancias luminiscentes muy diversas: Las más comunes entre las inorgánicas son a base de yoduro sódico y talio activado, volframato de calcio, volframato de cadmio y sulfuro de cinc con plata activada. De los orgánicos dan buenos resultados los naftalenos, antracenos, estilbenos y terpenilos. Entre los líquidos figuran las soluciones de terpenilo en xileno y antraceno en benceno o tolueno y últimamente hay información de que dan buenos resultados las soluciones sólidas, como el terpenilo en polistileno. Para asegurar una respuesta uniforme a la radiación, es fundamental la pureza química elevada y buena estructura cristalina.

Interesa que la emisión luminosa esté comprendida entre 3.000 y 6.000 angstroms. La duración de la excitación es de 0.01  $\mu$ s. en las sustancias orgánicas y 0.1  $\mu$ s. en las inorgánicas.

3. IMPULLENTE.—Ciertos cristales tienen la propiedad de dar impulsos eléctricos cuando un electrón recibe suficiente energía radiante para desplazarlo a sus bandas de conducción; al aplicar un campo eléctrico entre dos caras opuestas del cristal, los electrones desprendidos originan una corriente de desplazamiento. Esta propiedad la poseen los cristales de cloruro de plata a la temperatura del aire líquido y el diamante a la ambiente, debiéndose a Van Heerden la aplicación con fines de computación radiactiva.

Entre las normas a tener en cuenta, figura la conveniencia de que los cristales no sean conductores, para no enmascarar la corriente. La amplitud de cada impulso depende del número de electrones desplazados, de la distancia que recorren en el cristal para la absorción de cada partícula o cuanto de radiación, y de la pureza y naturaleza del cristal.

Por la pequeñez de los impulsos originados por la mayor parte de los cristales, se requiere una amplificación elevada para su computación y aislamiento del efecto de fondo.

4. CONDENSANTE.—La acción condensadora, fundada en realidad en el poder ionizante, utiliza como instrumento la cámara de niebla, o de Wilson, basada en la propiedad que tienen los recintos sobresaturados de vapor de agua

con enfriamiento adiabático, de permitir observar el paso de un agente ionizante como partículas alfa y beta, protones, productos de escisión y mesones, por actuar los iones formados como núcleos de condensación. Esta cámara no es adecuada para el estudio de los neutrones por su escaso poder ionizante.

La cámara permite observar los fenómenos ionizantes que ocurren en el momento de expandirse el gas contenido en ella. Con las fotografías entereoscópicas del fenómeno se deducen curvaturas y longitudes de las trayectorias, requiriéndose en general la obtención de muchas fotografías para lograr trayectorias interesantes.

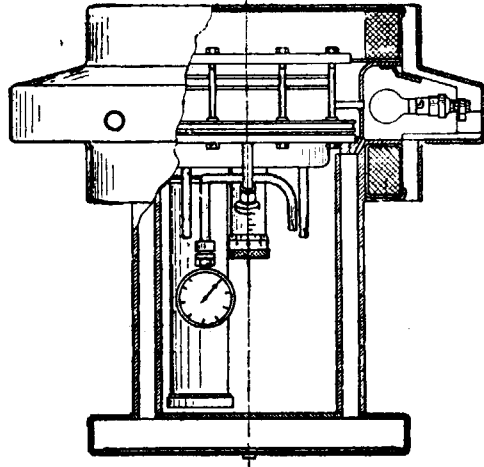


Fig. 1-4.—Cámara de Wilson.

La cámara de Wilson es muy útil en la determinación del alcance de las partículas, colisión con otros núcleos, así como de las partículas producidas a que dan lugar estas colisiones en el proceso de desintegración. Su importancia es muy grande para el estudio de las componentes de la radiación cósmica, así como las radiaciones de propiedades desconocidas.

5. CALORÍFICA.—Para el geofísico tienen una importancia muy grande las acciones caloríficas de los procesos radiactivos, por su influencia en el balance térmico del

planeta, para él tuvo siempre interés grande el estudio de la energía calorífica liberada por los procesos radiactivos, tanto desde el punto de vista teórico como del experimental. El fundamento de método calorífico, de estudio de las radiaciones, consiste en medir el calor desarrollado cuando las radiaciones son absorbidas.

El calor desarrollado por estas radiaciones es relativamente pequeño, por lo que se requieren varias horas de exposición, así como la utilización de instrumentos precisos para su medición, denominados microcalorímetros. Como referencia, se puede citar que el calor desarrollado por un milicurio de polonio es de  $25 \times 10^{-8}$  cal/h. Los calorímetros deben permitir medir cómodamente calores generados del orden de una milésima de caloría por hora, con una precisión del dos o tres por ciento.

6. IONIZANTE.—En la acción ionizante están fundados los aparatos clásicos de medida empleados en radiactividad. La ionización tiene lugar, al pasar las partículas cargadas eléctricamente, por los aparatos de medida, ionizando sus gases, al dar lugar a un electrón que se separa del átomo neutro y a un resto positivo; el conjunto de ambos forma un par de iones. Las partículas carentes de carga eléctrica, como los neutrones, también pueden dar lugar a iones, pero de manera secundaria.

Se denomina ionización específica de una partícula, al número de pares iones formados en un centímetro de su trayectoria, aumentando el número de pares iones inversamente proporcional a la velocidad de la partícula, por estar más tiempo en contacto con los átomos.

Las partículas cargadas eléctricamente, pueden ionizar de una manera directa con pequeña pérdida de energía (en el aire es 32,5 ev. y en el argón 25,4 ev., para par de iones) o bien de una manera secundaria, con una pérdida considerable de energía para dar lugar a un proceso posterior que puede originar miles de pares iones. En las partículas alfa, esta ionización secundaria puede representar de 60 a 80 % de los pares totales producidos, mientras que para las beta, es de 80 a 85 %.

**Radiación utilizada.** — Por la radiación utilizada, según los casos, se presentarán medidas de rayos gamma, protones, beta, neutrones y alfa.

1. PARTÍCULAS ALFA.—La partícula alfa, hasta que se convierte en un átomo de helio por captura de dos electro-

nes, tiene una trayectoria rectilínea con un poder ionizante elevado, dando lugar a un número de iones proporcional a la potencia, dos tercios de su alcance. El poder ionizante es máximo cerca del final del recorrido de la partícula, que es, precisamente, cuando le resta una pequeña parte de su energía cinética.

En la adjunta figura I-5, se da la curva de Bragg, que muestra la variación de la ionización específica con el recorrido de las partículas alfa, con un aumento cerca del

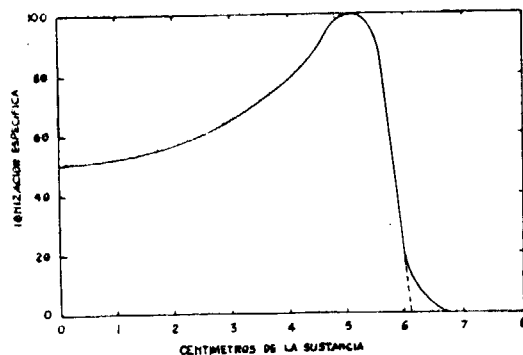


Fig. I-5.—Curva de variación de la ionización específica debida a las partículas  $\alpha$  emitidas por un elemento.

final donde ha perdido casi la energía cinética. La curva de Bragg sólo representa la ionización primaria, pero, además, existe la secundaria de menor importancia como originada por los electrones liberados por las partículas alfa. Esta curva indica la importancia que tiene el que las cámaras de ionización destinadas a las partículas alfa tengan espacio suficiente para permitir un recorrido total de dichas partículas, con el objeto de no perder la zona de máxima ionización.

Cada proceso emite grupos de partículas, con la misma energía inicial, para dar lugar a un alcance análogo que, bajo condiciones normales de presión y temperatura, son específicas del proceso. La figura I-6 representa el número de partículas que corresponden para cada alcance en el aire, pertenecientes a la emisión alfa del RaC', por la horizontabilidad de la curva continua, denominada «alcance número de partículas», se aprecia cómo la casi totalidad del número de partículas tiene un alcance cercano al medio. En la curva de trazos, se ve la distribución de to-

das ellas alrededor del alcance medio. Como el alcance es tan pequeño, induce la necesidad de utilizar para los tubos contadores de partículas alfa, ventanas muy finas como las

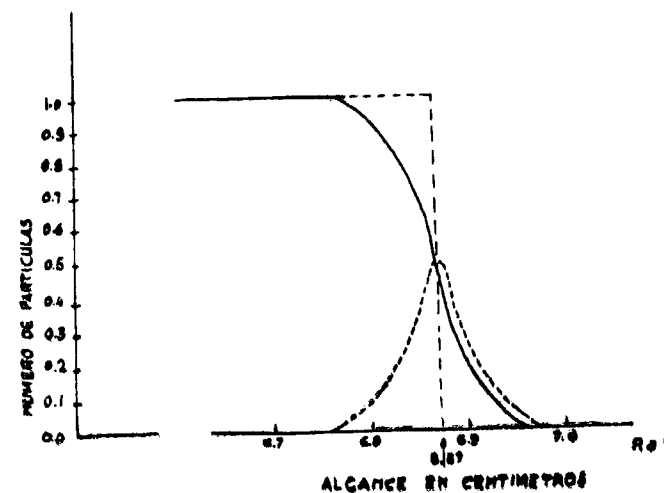


Fig. I-6.  
— Alcance de las partículas del RaC'.  
--- Distribución de las partículas alrededor del alcance medio.

de mica, o mejor, la conveniencia de recurrir a tubos abiertos para colocar la muestra en su interior.

2. PARTÍCULAS BETA.—Como los rayos beta, se pueden medir por los métodos fundados en la ionización, con los tubos contadores de ventana fina, por la propiedad que tienen de ionizar los átomos directamente por su interacción con otros electrones. Las medidas con los contadores Geiger-Müller, tienen análoga sensibilidad para las partículas beta que atraviesan su pared, mientras que con los electroscopios o con las cámaras de ionización, como el efecto es consecuencia de la interacción de todos los iones producidos, resultan más sensibles a los electrones lentos que a los electrones rápidos.

3. RADIACIÓN GAMMA.—La ionización producida por los rayos gamma es función de la emisión secundaria de rayos beta, ya que cada rayo gamma produce un par de iones y los electrones, expulsados violentamente de las capas

corticales del átomo, son los que producen la ionización de las moléculas que existen en su recorrido.

**Aparatos fundados en la ionización.**—Los aparatos destinados a efectuar medidas radiactivas fundados en la ionización son muy variados; los clásicos se suelen agrupar en electroscopios y electrómetros. A pesar de haberlos desplazado otros descritos a continuación, más modernos y sensibles para muchas de sus aplicaciones, aquéllos conservan sin embargo su prioridad para algunas mediciones radiactivas de precisión.

1. **CÁMARAS DE IONIZACIÓN.**—Para las medidas efectuadas con electroscopios y electrómetros se necesita una cámara que a veces forma parte del mismo instrumento; en ella se producen iones por las partículas o radiaciones que se van a medir. Los modelos son variables según el tipo de radiación a que están destinados. Las cámaras de ionización se reducen a un condensador eléctrico, la armadura cilíndrica se une directamente a tierra en unos casos, y en otros, como el de la fig. I-7, se somete a un potencial; el

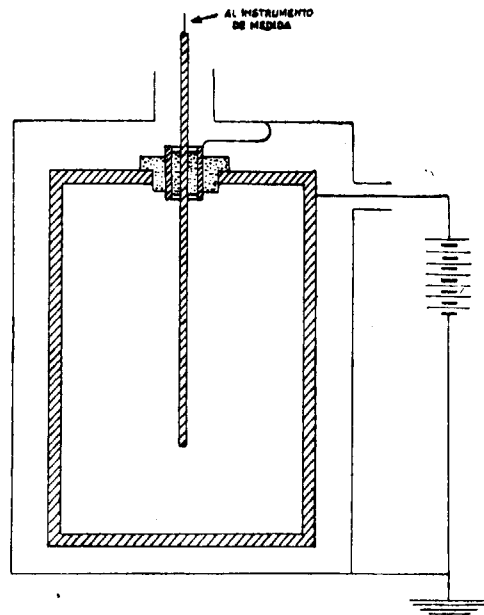


Fig. I-7.—Cámara de ionización.

conjunto está provisto de una envoltura unida a tierra. La armadura interna es una varilla que hace de colector, coaxial con la cilíndrica, muy bien aislada y de pequeña capacidad, la cual se conecta al electrómetro. Es interesante conseguir una diferencia de voltaje considerable entre las dos armaduras del condensador, para lograr un grado razonable de saturación, que se procurará sea el mayor posible. Si el potencial es pequeño se produce desplazamiento de iones que aumenta al incrementarse aquél, pero llega un momento en que a los iones no les da tiempo para recombinarse, que corresponde al potencial de saturación. Caso de rebasarse este potencial, se llegaría a producir la chispa entre los electrodos.

La cámara se construye en acero, cobre o bronce, para reducir la posible contaminación. Caso de producirse ésta, se puede eliminar con un lijado, siendo aconsejable cubrir la superficie interior con grafito coloide. En los casos en que la cámara se destina para la medición de radiaciones beta o gamma y sea necesario que éstas atraviesen las paredes de la cámara, el material con que se construyen es electrón o cualquier otra aleación ultraligera.

2. **ELECTROSCOPIOS.**—Los electroscopios son aparatos de manejo muy sencillo, económicos y portátiles. Poseen una sensibilidad grande, por lo que es fundamental un buen aislamiento eléctrico. Los electroscopios están fundados en el efecto producido por la ionización y desaparición de cargas eléctricas, originadas por una diferencia de potencial en dos conductores aislados entre sí, uno que es el cargado y otro el unido a tierra.

La ecuación que da la corriente de ionización  $i$  es 
$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{C(V_1 - V_2)}{t}$$
 en la cual  $Q$  representa la carga eléctrica,  $C$  la capacidad y  $V$  el voltaje, expresión aplicable igualmente a los electrómetros que a los tubos electrométricos de vacío.

El electroscopio más popular es el denominado de panes, que suele consistir en una o dos láminas de oro, plata o aluminio, unidos por uno de sus extremos al conductor, aislado por medio de ámbar, azufre, ebonita, cuarzo fundido, etc. Al someter el sistema aislado a una potencial de varias centenas de voltios, se produce una repulsión electrostática de los panes, que les hace tomar una posición de 40 a 50 grados respecto del soporte, en la que deben permanecer si el aislamiento es perfecto y no existe ioni-

zación en el gas. La lectura se efectúa en el borde del pan metálico, por medio de una escala situada en un microscopio.

Como la fuerza antagonista que actúa para restituir el conductor a su posición de O es la gravedad, ha de procurarse que los panes sean muy ligeros. Con el objeto de aumentar la sensibilidad, se procura disminuir la capacidad, por ser inversa a ésta.

En los electroscopios para partículas alfa hay dos variantes (fig. I-8), según que la sustancia se introduzca en la propia cámara del electroscopio, que son de capacidad electrostática pequeña y sensibilidad muy grande, o que se disponga de una cámara de ionización, por lo general inferior, en la que se sitúa la sustancia, con el inconveniente de que la capacidad electrostática es grande. Los

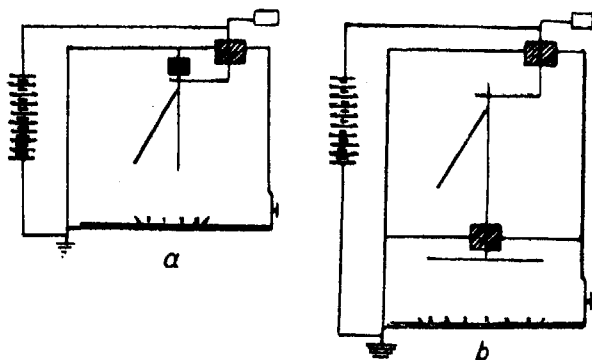


Fig. I-8.—a Electroscopio con la sustancia en su propia cámara.—b Electroscopio con cámara de ionización inferior.

electroscopios para rayos beta son cerrados, con una ventana en la que se coloca un filtro, para detener las radiaciones alfa y las beta que no sea conveniente que penetren en la cámara de ionización. La envolvente para los electroscopios de radiación gamma es de plomo, con el objeto de evitar el paso de la radiación beta e incluso de algunas gammas blandas, si es necesario. Para la medida de los neutrones también se pueden emplear los electroscopios, pero es necesario eliminar toda radiación gamma mediante un espesor adecuado de plomo que reduce ligeramente la intensidad de los neutrones. A continuación de la protec-

ción de plomo se coloca una capa de parafina, para que los neutrones desprendan los correspondientes protones, con el objeto de producir una ionización en la cámara proporcional a la intensidad de los neutrones incidentes.

Además de los electroscopios de panes, existen los de hilo, como el clásico de Wulf. En general, pueden ser de cuarzo metálico o de metal; en ellos, la capacidad eléctrica se reduce considerablemente con aumento de sensibilidad; la acertada combinación de ambos se hace preparando con mica adherida al extremo de un pan de oro y con cuarzo al extremo de un hilo metalizado.

3. ELECTRÓMETROS.—Los electrómetros tienen tres conductores aislados entre sí; uno es móvil y los dos restantes estacionarios. La diferencia esencial de los electroscopios radica en la necesidad de una diferencia de potencial auxiliar; su sensibilidad es mayor que la de los electroscopios, con el inconveniente de mayor capacidad, pudiéndose reducir considerablemente la inercia si se trabaja en vacío. Los electrómetros se agrupan en dos tipos, los de hilo o

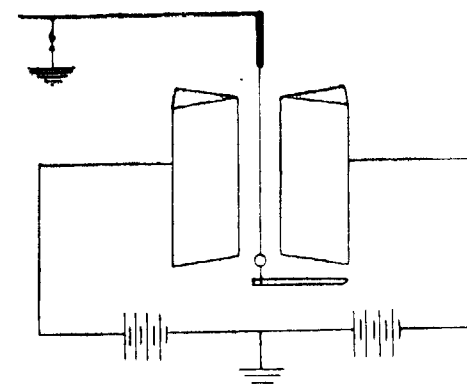


Fig. I-9.—Electrómetro monofilar.

cuerda y los de cuadrantes. Entre los más conocidos de los del primer grupo están los de un hilo y los bifilares, representados en las figuras I-9 y I-10.

Como tipo de electrómetro de cuadrante se suele mencionar el de Dolezalek, consistente en ocho cuadrantes colocados en parejas superpuestas de dos a dos, con poca diferencia de altura; por la parte externa están unidos

los de cada pareja por una superficie cilíndrica. Cada pareja de cuadrantes se une eléctricamente con los diametralmente opuestos. Entre las dos capas de cuadrantes, cada una en un plano, se mueve una lámina de papel plateado suspendida de un hilo de cuarzo platinado o wollaston, coaxial con la superficie cilíndrica. El hilo soporta un espejo destinado a desviar el rayo luminoso que se utiliza

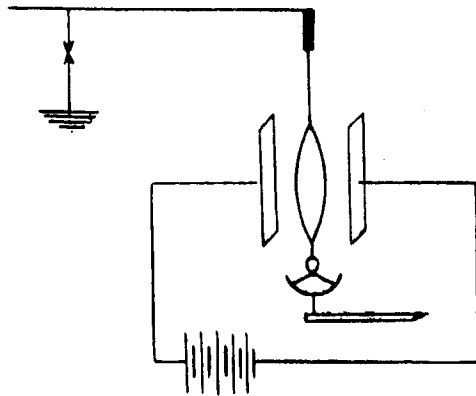


Fig. I-10.—Electrómetro bifilar.

para la lectura. La sensibilidad se aumenta con la longitud de la parte móvil, así como con la proximidad de los cuadrantes, y se disminuye con el aumento del par de torsión del hilo utilizado para la suspensión. En las figs. I-11 y I-12 se representan las dos maneras más frecuentes de conectar los electrómetros de cuadrante.

Los métodos para efectuar las medidas con los electrómetros son tres, denominados de la velocidad de desviación, de cero y desviación constante.

a) El método de la velocidad de desviación es uno de los más sensibles para las mediciones con electrómetros. Se funda en que, a partir de un cierto momento, la velocidad de desplazamiento es proporcional a la corriente de ionización  $i$ , ligada por la fórmula

$$\frac{dV}{dt} = Ci,$$

donde C representa la capacidad total de los cuadrantes y

armaduras. Es fundamental no efectuar las lecturas hasta que la velocidad de desviación sea proporcional a la intensidad, a no ser que se efectúe entre divisiones fijas de la escala.

b) Las medidas con electrómetros por el método del cero, reducen la función de estos aparatos a la de in-

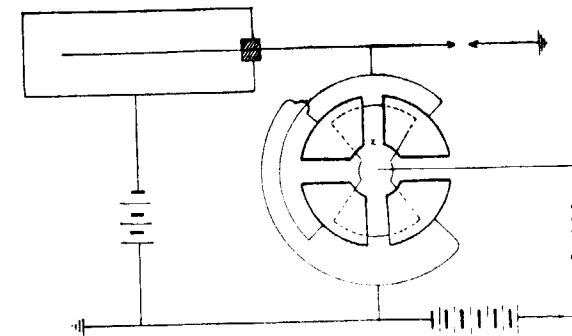


Fig. I-11. —Electrómetro de cuadrante. Proyección horizontal.

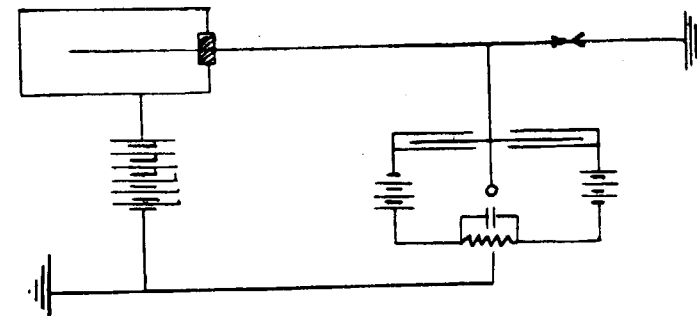


Fig. I-12.—Electrómetro de cuadrante. Sección vertical.

dicador de potencial, con la ventaja de no requerir un aislamiento tan perfecto ni la calibración previa de la desviación, al mismo tiempo que la medida es independiente de la sensibilidad del aparato. El fundamento consiste en compensar la corriente que atraviesa el condensador con una igual y de sentido contrario, que es la que se valora

para efectuar la medición. La corriente de ionización está dada por la fórmula  $i = \frac{VC}{t}$  donde V es el potencial aplicado y C la capacidad del condensador (fig. I-13).

c) También se pueden efectuar medidas con los electrómetros, por el método menos sensible de la desviación

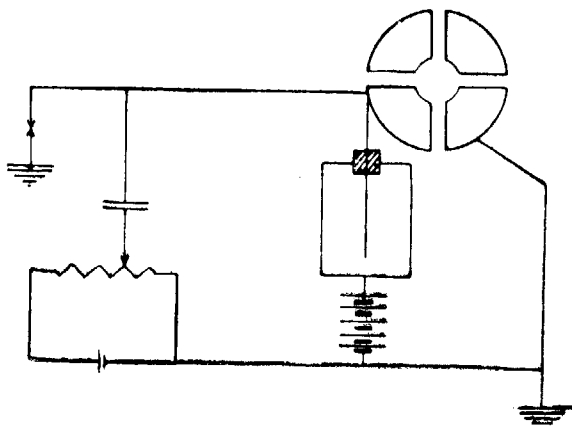


Fig. I-13. - Conexiones para mediciones por el método del cero.

constante. La corriente a medir que pasa por la cámara de ionización, se lleva a una resistencia calibrada R, utilizando el electrómetro para medir la caída de potencial a través de la resistencia (fig. I-14). Este método requiere un calibrador previo y la fórmula que se emplea es  $i = \frac{V}{R}$ .

Los electroscopios y los electrómetros pueden medir corrientes de hasta el orden de  $10^{-12}$  A. y se pueden utilizar hasta  $10^{-9}$  A.; a partir de estas intensidades se recurre a los galvanómetros. Existen dos causas conocidas con los nombres de ionización espontánea y pérdida por aislamiento, que dan lugar a la descarga espontánea de los electroscopios y electrómetros. Como es un término negativo de las mediciones, debe descontarse de la descarga producida por la sustancia que se ha de medir.

La ionización espontánea existe en toda masa gaseosa, debida a varias causas, como son la radiación cósmica penetrante, suficiente para atravesar las paredes de la cámara de ionización a la cual se acumulan las acciones de las

sustancias radiactivas que existen en el laboratorio, de las que se pueden contaminar los aparatos y los depósitos activos que se producen al efectuar las mediciones con radón, por lo que se debe hacer, a continuación de cada medida, un lavado perfecto de la cámara con aire inactivo y desecado.

La pérdida por aislamiento es debida a la insuficiencia de los aislantes utilizados, como cuarzo, ámbar, azufre, ebonita, parafina, etc., bien por sí mismo o por depósito

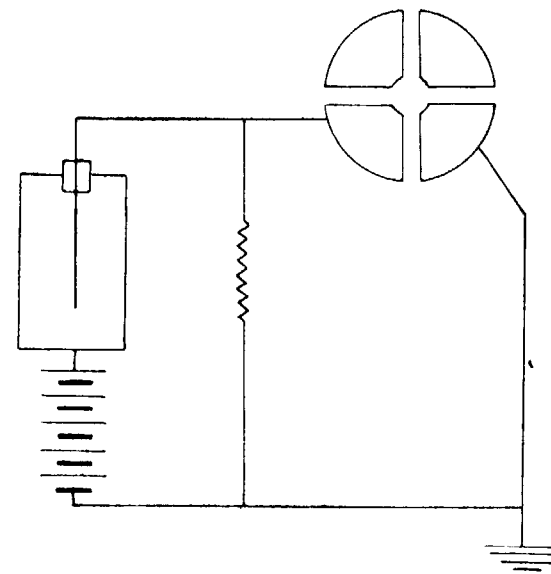


Fig. I-14. Conexiones para mediciones por el método de desviación constante.

metálico producido en sus superficies exteriores, o por la humedad. Esta última es muy perjudicial, razón por la que se ha de procurar conseguir un ambiente seco por medio de los clásicos desecadores, de cloruro cálcico, sodio metálico, ácido sulfúrico, etc.

Se debe tener la costumbre de determinar la descarga espontánea antes y después de cada serie de medidas, con el fin de ver su identidad o si existe pérdida por contaminación del aparato, con la precaución de efectuarlo entre las mismas divisiones de la escala.



Al efectuar medidas con radiación gamma, como las del radio y sus descendientes, para que sean comparables es preciso reproducir exactamente, con la sustancia problema, la situación y condiciones de emisión del patrón, e incluso no alterar los objetos metálicos cercanos, para evitar la producción de un cambio en las radiaciones secundarias.

Al geofísico que cultiva la rama de prospección, así como al minero, se le plantea durante su ejercicio profesional la necesidad de medir radiactividades de elementos de las familias largas, sobre cuya técnica se van a dar algunas orientaciones.

Para efectuar la medida de pequeñísimas cantidades de radio, como son entre  $1 \mu\text{C}$  y  $10^{-4} \mu\text{C}$ , se disuelve la sustancia y extrae la emanación por burbujeo y ebullición o se recurre a la fusión. Como durante la fusión o la solubilización puede haber pérdidas de radón, es preciso, antes de efectuar la medida, una coexistencia durante un mes del radio con el líquido, para alcanzar el equilibrio radiactivo, aunque, en caso de necesidad, se puede efectuar antes, pero es necesario introducir la correspondiente corrección. Introducido el radón en la cámara del electrosco-pio o electrómetro, es preciso permanezca cuatro horas para alcanzar el máximo de actividad de sus descendientes.

Cuando los productos deben alcanzar el equilibrio radiactivo para las mediciones, se ha de tener en cuenta el momento de la preparación, como ocurre en los establecimientos donde se preparan tubos con concentrados de radio; en ellos ha de transcurrir un mes para alcanzar el equilibrio con el radón y el RaC. En las ampollas de radón, el equilibrio con el RaC se tarda cuatro horas en alcanzar, aunque en algunas ocasiones, por la urgencia de su empleo se recurre a una medición anterior, que puede efectuarse a las dos horas, introduciéndose una corrección aditiva que figura en tablas y ábacos.

Cuando se quiere reducir la sensibilidad de las mediciones, por tratarse de emisiones muy ionizantes, como son las alfas del polonio, se emplean filtros que dejan pasar una fracción adecuada; en el caso de ser de aluminio pueden tener un espesor de cinco micrones.

Si se trata de medir radiaciones gamma, como las del radio, se emplean filtros de plomo con espesores de hasta varios centímetros. También es frecuente la reducción aparente por medio de diafragmas de la superficie radiante, como en el caso de emisiones alfa intensas.

Los métodos sencillos para medir uranio, torio, radio, etcétera, en muestras pulverizadas, aunque menos sensibles, se fundan en que para un mismo espesor y tamaño de grano, la radiación que actúa sobre el electrómetro es función de la superficie radiante.

Si se trata de medir aguas con activación inducida, se procura el desprendimiento del radón por ebullición, y como éste disminuye por desintegración desde que se efectuó la captación, que ha de ejecutarse con toda clase de precauciones para evitar la pérdida de radón, es preciso conocer el tiempo transcurrido para efectuar la corrección, que se encuentra tabulada o en gráficas en los libros que tratan de mediciones radiactivas. Para medir la actividad fija de las aguas, se deja pasar un mes desde su captación, para que se pierda su actividad inducida, mientras tanto, el radio que pueda contener habrá alcanzado el equilibrio con el radón.

Cuando se tengan que efectuar medidas de torón, que tiene un período menor de un minuto (54,5 s.), se debe evitar el efecto producido por la desintegración de éste. Para ello se recurre a la alimentación continua de la cámara de ionización, por medio de una corriente gaseosa inactiva que arrastra el torón al barbotear por la solución activa, con un caudal adecuado para que las aportaciones compensen a las desintegraciones. Esta técnica también es utilizable para el radón.

4. COMPUTADORES.—Los métodos computadores en sus aplicaciones a la radiactividad natural y artificial consisten en contar individualmente cada una de las partículas negatones, positrones, neutrones, protones o alfa que emite la sustancia, fundados en la ionización de las partículas. Estos aparatos se deben considerar entre los que se fundan en la acción ionizante; según la manera de amplificar la ionización producida en el detector, se clasifica en tres clases: sin amplificación, con amplificación de la ionización, y con amplificación por emisión secundaria.

a) *Sin amplificación.*—Para poder numerar las partículas sin amplificación, son necesarios aparatos de sensibilidad muy grande y aplicados a partículas de ionización muy fuerte, como las del ThC'. Las variaciones de potencial producidas por los iones originados por cada partícula, al ser captados por el electrodo, pueden ser amplificadas de  $10^8$  a  $10^5$  veces por conexión a la rejilla de una lámpara amplificadora. Se han obtenido buenos resultados

con partículas con fuerte ionización primaria, como las alfa, los protones lentos y partículas de escisión.

Entre los contadores sin amplificación figura el primitivo de punta, de Geiger. Consta de un cilindro metálico que, en su eje, tiene una varilla metálica terminada en punta, unida al tubo por un aislante. La varilla está cargada negativamente con relación al cilindro con una diferencia de potencial de 3.000 V. La descarga es favorecida por la ionización originada en el gas por el paso de la chispa, que carga los hilos de un electrómetro, o produce la señal correspondiente en un teléfono.

b) *Con amplificación de la ionización.*—Al adquirir los iones, por medio de un campo eléctrico, energía cinética suficiente para producir iones secundarios de átomos

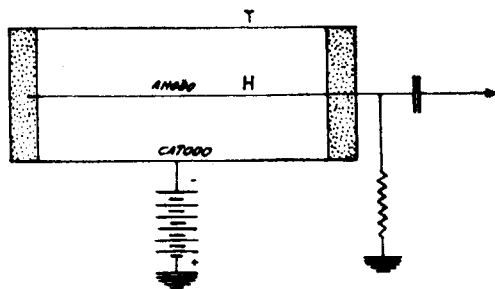


Fig. I-15. Tubo contador Geiger-Müller.

y moléculas alojadas en un tubo, se puede conseguir una amplificación de  $10^{15}$ , denominándose contadores proporcionales los que originan iones secundarios en número proporcional a los primarios.

El tubo contador, modelo Geiger-Müller, se representa en la fig. I-15, en ella se aprecia el tubo metálico *T*, generalmente de latón o cobre, desde varios centímetros de largo, a más de un metro que tienen los destinados a medir radiaciones cósmicas, de diámetro dos o tres centímetros. El tubo metálico está sometido a un potencial negativo de 1.500 a 4.000 V., respecto a un hilo coaxial *H* de cobre, hierro o wolframio, de 0.1 mm. de diámetro, que lo atraviesa por aislantes. Por medio de un condensador se conecta el filamento al circuito computador. Para pequeñas diferencias de potencial entre el tubo y el hilo el contador no funciona, es preciso someterlo a una diferencia

mínima denominada voltaje umbral  $V_u$ , (fig. I-16), a partir de éste, el número de impulsos durante el mismo tiempo aumenta con el voltaje aplicado hasta llegar al valor estacionario  $V_e$ , a partir del cual no aumentan sensible-

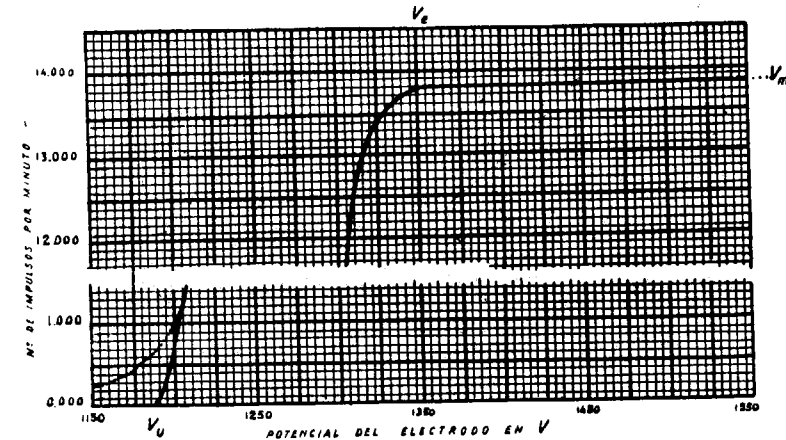


Fig. I-16.—Variación del número de impulsos con el voltaje.

mente los impulsos, aunque se aumente el voltaje, hasta que se llega a  $V_m$ ; a partir de éste, se produce un aumento, y poco después la descarga continúa. La diferencia de potencial  $V_m - V_e$  debe ser de unos 300 V., para dar buenas medidas sin necesitar una regulación y estabilización del voltaje demasiado fina.

Al ir acercando a un tubo contador un manantial puntual de radiación gamma, por ejemplo, se ve que cada vez se aprecian más impulsos por unidad de tiempo, hasta que llega a una distancia que permanece prácticamente inalterable (fig. I-17); entonces se dice que alcanzó la saturación.

Para obtener ionizaciones buenas, se llena el interior con un gas o vapor adecuado, argón, helio, nitrógeno, etc., o acetona, éter, alcohol, etc., y a poca presión para aumentar la movilidad de los electrones 8 a 10 cm. de mercurio. Los contadores de gases necesitan más resistencia de fuga y menor tensión de trabajo que los de vapores; las intensidades son de  $10^{-6}$  y  $10^{-4}$  amperios, y los tiempos de descarga  $10^{-8}$  y  $10^{-5}$  s., respectivamente, que corresponden a los tiempos inactivos. Se construyen tubos que permiten registrar impulsos con duraciones del orden de  $10^{-6}$  s. y con una resolución de  $6,5 \times 10^{-9}$  s.

Los tubos contadores son diferentes, según el uso a que se destinan:

**Contadores para rayos gamma.**—La condición específica de los contadores para rayos  $\gamma$  radica en el aumento de la eficiencia de los rayos gamma. Se procura construir el tubo con elementos de peso atómico elevado, con el

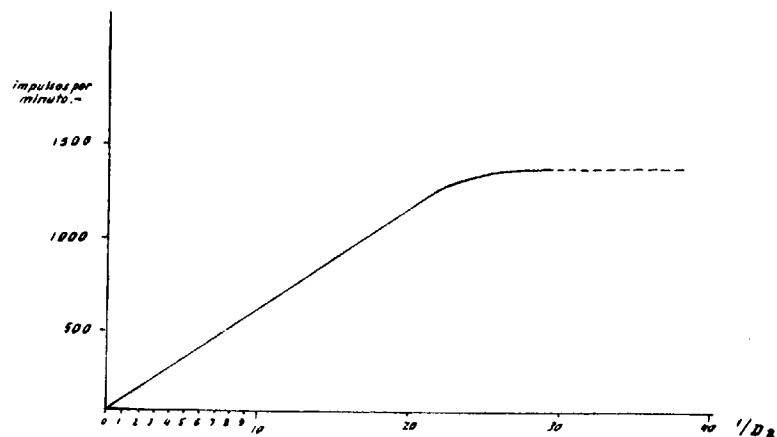


Fig. I-17. — Variación del número de impulsos del contador con la distancia de la muestra.

objeto de aumentar el número de electrones secundarios emitidos por las paredes. Al utilizar tanto estos tubos como los de beta, en las mediciones directas de actividades de líquidos, se recurre a la inmersión, para que el líquido rodee totalmente al tubo.

**Contadores para partículas beta.**—El modelo de tubo a emplear, depende de la energía de la partícula beta emitida por las muestras. Podrá ser todo el tubo de una lámina metálica fina, o tener una ventana muy fina de 0.008 milímetros, la cual puede ser de mica, que para espesores de hasta 4 mg/cm.<sup>2</sup> se puede usar con diámetros de 25 mm. o ser los tubos abiertos, como los utilizados generalmente para partículas de energía menores de 1 Kev., siempre que las sustancias se puedan transformar en gas.

La mica de las ventanas de los tubos da lugar a una disminución en el porcentaje de la transmisión, de acuerdo con la ecuación  $\frac{I}{I_0} = \exp(-\alpha \times d)$ ; el primer miembro

representa la relación entre el número de partículas transmitidas e incidentes,  $\alpha = \frac{0.02}{1.33}$  es el coeficiente de absorción específico de la mica en cm<sup>2</sup>/mg. y  $d$  corresponde al espesor en mg/cm<sup>2</sup>. En la fig. I-18 se representan las curvas de transmisión para diversos espesores de mica.

Los contadores son sensibles igualmente para toda partícula beta que le penetra, mientras que los aparatos

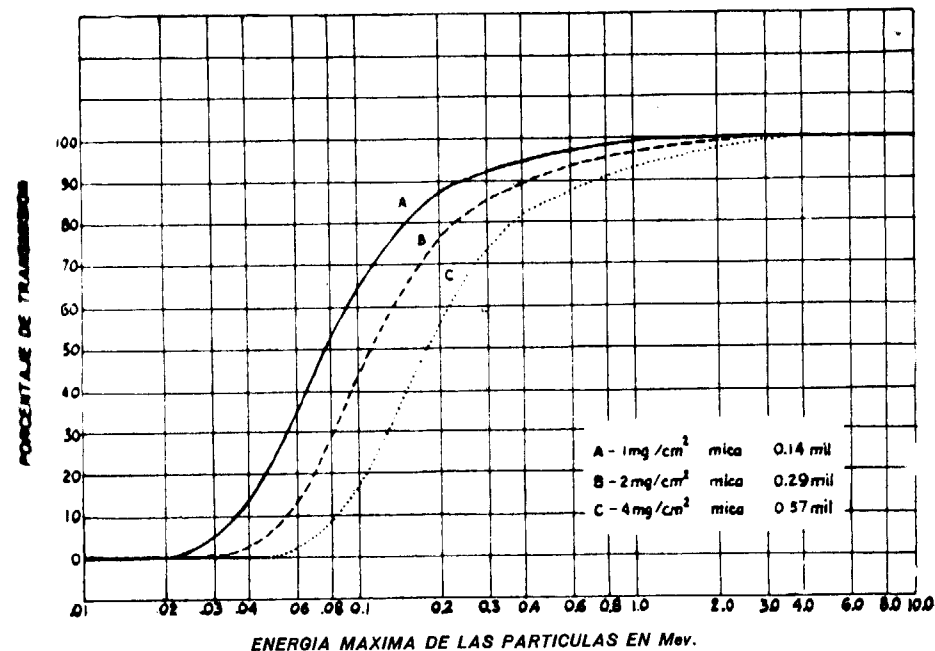


Fig. I-18. — Transmisiones para diversos espesores de mica.

que utilizan cámara de ionización son más sensibles a los lentos, por ser mayor el efecto íntegro de los iones producidos.

**Contadores para partículas alfa.**—Los contadores para partículas alfa tienen que ser abiertos por la pequeña penetración de estas partículas, como las demás pesadas con carga. La técnica más sencilla es la de colocar la muestra y el filamento del contador en el recipiente vacío.

c) *Con amplificador por emisión secundaria.*—Son multiplicadores de electrones, denominados también células de emisión secundaria, porque cada ión da lugar a varios electrones secundarios (4, por ejemplo), al incidir en una lámina adecuada de berilio contenida en un tubo con vacío de  $10^{-6}$  mm. de mercurio. Estos, a su vez, se dirigen y enfocan sobre otra lámina análoga sometida a una diferencia de potencial respecto a éste de unos 300 voltios, y así sucesivamente en los diversos escalones, dando en el caso de 11 electrodos la cantidad de  $2^7$  electrones por cada uno de los iniciales. Los electrones se dirigen de la penúltima lámina a la última, que hace de colectora, conectada con los amplificadores y registradores.

Los multiplicadores son utilizados para toda clase de radiaciones que liberen electrones al chocar con el electrodo inicial; son utilizables para las partículas alfa, protones e iones positivos.

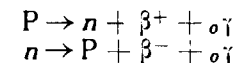
d) *Escalas.*—Reciben la denominación incorrecta de escalas los circuitos destinados a reducir el número de impulsos que ha de registrar un contador, indispensables en los casos en que el numerador no puede actuar por falta de tiempo. Los registradores computan en su numerador únicamente  $1/2, 1/4, \dots, 1/128, 1/10, 1/100, \dots$ , de los impulsos que envía el tubo, según el tipo, recibiendo la escala la denominación del denominador correspondiente. Las escalas están provistas de una serie de lámparas de neón, cuyo fin es interpolar entre las lecturas del numerador el número de impulsos que se han recibido.

## 1-7. Clases de emisión y cálculo de energías

Al consultar las tablas de propiedades isotópicas de los núcleos inestables, se aprecian los diversos procesos de desintegración que suelen presentar, unos por emisión directa de los núcleos, como son los de neutrones ( $n$ ), protones ( $p$ ), partículas alfa ( $\alpha$ ), positrones ( $\beta^+$ ), negatones ( $\beta^-$ ), y productos de escisión; otros indirectos, como los procedentes de la captura de un electrón orbital por el núcleo

(K) y el de transición isomérica de un estado excitado a otro inferior del mismo núcleo (T, I).

**Emisión  $\beta$ .**—La emisión de partículas beta se puede considerar en su doble aspecto de positrón y negatón; ambos los supone E. Fermi (1934) como un cambio súbito de un protón o de un neutrón.



En estos procesos hay dos energías liberadas, una con partículas beta, con su correspondiente espectro continuo de energía (fig. 1-1) que varía de 0 a un máximo y éste entre 0.0169 Mev. para el  $H^3$  a 13,3 Mev. para el  $B^{12}$ , y la otra con las partículas auxiliares o neutrinos, sugeridos por Pauli (1934), con una energía análoga a la que le falta a cada partícula beta para alcanzar la energía máxima  $E^{max}$ .

El alcance y la absorción se debe determinar para  $E^{max}$ , que es el valor indicado en las tablas; la energía media es aproximadamente  $0.3 \times E^{max}$ . La absorción de las partículas  $\beta$  sigue la ley  $I = I_0 e^{-\mu x}$  debido al espectro y dispersión de los electrones, donde  $x$  es el espesor y  $\mu$  un coeficiente característico de cada absorbente. Los núcleos pueden tener emisiones  $\beta^+, \beta^-$  o ambas simultáneas, como el  $Cu^{64}$ ,  $Rh^{102}$ , etc. La energía necesaria para la emisión del positrón es, como mínimo, la equivalente a los dos electrones en reposo 1,02 Mev., ya que su aniquilamiento origina dos fotones gamma de 0,51 Mev. cada uno. Al seguir el positrón, se ve que su vida es corta, la energía la va perdiendo por la ionización del medio, hasta que se produce la colisión con un negatón de un átomo aniquilándose, con la producción de dos fotones gamma en sentidos opuestos, mencionados anteriormente. Hasta la fecha no se conocen núcleos naturales con emisión de positrones, mientras que de los artificiales la poseen cerca de 80; su proceso es debido a un estado inestable o de carencia de neutrones, en la relación  $N/Z$  generalmente bastante mayor de 1 y menor que 2, al emitir un  $\beta^+$  se aumenta en 1 el numerador y disminuye, en la misma cantidad el denominador.

La emisión de negatones es más frecuente; la tienen varios elementos naturales, como se ve en la tabla del capítulo II, y cerca de 300 elementos artificiales. Los períodos son muy variables, desde el orden de millonésimas de segundo a varios millones de años. En los núcleos de estos átomos existe un exceso de neutrones, contrario a lo señalado para la emisión del positrón.

A las partículas beta, les suelen acompañar radiaciones gamma nucleares, de frecuencias elevadas, con energías de 0.02 a 4 Mev, producidas durante el proceso de reajuste del núcleo, que tiene duración de millonésimas de segundo; la energía de estas radiaciones es  $E_\gamma = h\nu$ .

La emisión de partículas beta no altera la masa desde el punto de vista del número A, pero produce una disminución de masa, que es la del electrón en movimiento, tanto mayor cuanto más velocidad posea, llegando a tener una masa aparente  $m'$  de 200 veces la  $m'_0$  de reposo cuando su velocidad es cercana a la velocidad  $c$  de la luz,

$$m' = m'_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}$$

También se pierde la masa procedente de la energetización en forma de neutrinos, radiación gamma, etc., simultáneas o sucesivas con el proceso de desintegración.

Los electrones ionizan y excitan los átomos por las colisiones con otros electrones. Existe, además, la radiación de energía o de frenado de los electrones, producida por las colisiones con los núcleos.

Las partículas beta, por su masa pequeñísima, tienen trayectorias variables. La pérdida de energía por cada colisión puede variar desde toda la de la partícula a cantidades insignificantes, dando lugar a un alcance variable. Para la misma energía, la velocidad de las partículas alfa es menor que la del electrón, mientras que el poder ionizante es mayor que la de éste. La densidad lineal de ionización es  $I = 46 (v/c)^2$ .

**Emisión alfa.**—Las partículas alfa son emitidas por los núcleos con masas como mínimo 203, salvo el  $\text{Sm}^{147}$ . Son monoenergéticas, con una energía elevada que varía de 2,4 Mev. para el  $\text{Sm}^{147}$  a 8,95 Mev. para el  $\text{ThC}'$ , y los períodos están comprendidos por decenas de billones de años en el primero, a décimas de microsegundo para el último.

La emisión alfa, como es un desprendimiento simultáneo de dos neutrones y dos protones, produce un aumento en la relación  $n/p$ , dando lugar, en general, a núcleos inestables, produciéndose una disminución de esta relación, con la emisión beta que le sucede.

Los electrones producen un frenado progresivo de las partículas alfa, pero como la masa de aquéllos es pequeña

respecto a la de éstas, le hacen perder poco momento de inercia y la energía que puede recibir cada electrón es de 100 a 200 ev.

Es de gran importancia el alcance de las emisiones alfa naturales, tanto para los aparatos que se proyectan para su medición, como en los problemas de medidas de edades por los halos pleocroicos. Este alcance varía en el aire a 15 grados y presión normal de 8,62 cm. para el  $\text{ThC}'$ , que es el de menor período, a 1,15 cm. para el  $\text{Sm}^{147}$ ,

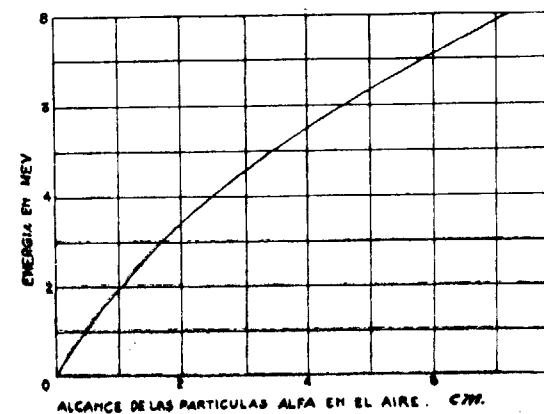


Fig. I-19. — Alcance en el aire de las partículas alfa en función de la energía.

que es el de menores probabilidades de transformación. El alcance en centímetros en el aire normal para valores entre 3 y 8 cm. está dado aproximadamente por la ley denominada de Geiger,  $R = 9,67 \times 10^{-28} v^3 = 0,318 E^{3/2}$ , expresada la energía en Mev. (fig. I-19); el valor de R, que figura en las tablas, es el alcance medio, distancia lograda solamente por la mitad de las partículas alfa.

El alcance de las partículas alfa, en diferentes medios, varía con la densidad  $d$  de las sustancias y el peso atómico medio A, y está dado por la fórmula  $R_{Ad} = 0,00032 R \times (A^{1/2}/d)$ . La absorción casi total, con pequeños espesores de los metales, es función del número atómico Z de elemento absorbente, según la fórmula  $S = 0,563 Z/(Z + 10)^{1/2}$ . El medio absorbente se puede expresar de dos maneras, por espesor o en gramos de sustancia por centímetro cuadrado, que es el criterio más frecuente. Todas estas partículas tienen un poder de penetración muy pequeño, que no

llega a una décima de milímetro para el aluminio. La ionización del medio, según W. H. Bragg (1904) es proporcional a  $\sqrt{r + 1,33}$  (fig. IV-1), donde  $r$  es la distancia en centímetros hasta el alcance, representando la producción de cada par de iones una pérdida en la energía de la partícula alfa del orden de 32,5 ev.

**Emisión n.**—La emisión de neutrones se comprueba en los productos de escisión de los reactores de uranio, procedentes de núcleos sobreexcitados después de la emisión beta, con períodos de emisión de 0.4 a 55,6 s.

Como los neutrones no tienen carga, no son ionizantes directamente, aunque pueden ionizar indirectamente por choque con elementos ligeros, como el hidrógeno del agua y parafina, que son lanzados con la absorción de la energía.

Los neutrones se clasifican en rápidos, lentos y térmicos, según que sus energías rebasen a unas decenas de Kev, sean inferiores, o sólo sean de algunas centésimas de ev. La longitud de onda es  $\lambda = 0,28/E^{1/2}$ , o sea para los térmicos del orden de las distancias atómicas, por lo que son reflejados y refractados.

Es muy discutida la emisión natural de neutrones por los elementos de las familias largas; unos opinan, como Vries (171), en contra de las afirmaciones sostenidas por otros autores, que no es posible en el Ux. Esta emisión en el uranio la han asegurado, entre otros Yagoda y Kaplan (185), a la que asignan un período de  $1,8 \times 10^{16}$  a., así como en el samerio con período de  $16^{16}$  a.

**Escisión espontánea.**—Algunos elementos, en las sucesivas transformaciones hacia núcleos más estables, presentan el fenómeno conocido por escisión espontánea o fraccionamiento del átomo en varios elementos y partículas nucleares. Como ejemplo, se pueden citar  $\text{Pu}^{239}$ ,  $\text{U}^{238}$ ,  $\text{Th}$  y  $\text{Sm}^{147}$ , con períodos de  $10^{14}$ ,  $10^{16}$ ,  $10^{18}$  y  $10^{16}$  años, despreciables frente a los correspondientes a la emisión alfa, que son respectivamente  $2,41 \times 10^4$ ,  $4,51 \times 10^9$ ,  $13,9 \times 10^9$  y  $320 \times 10^9$  años. Estos fragmentos de escisión con masas de 20 a 40 veces la correspondiente a las partículas alfa, tienen energía de 10 a 20 veces la de éstas, ionizan muy intensamente y su alcance en el aire llega hasta tres centímetros (82, 125, 141 a 143).

**Emisiones de protones y deutones.**—Comprobado por E. Rutherford (1919) que los protones pueden ser emitidos en los procesos de desintegración, se comprobó

posteriormente que algunas reacciones nucleares liberan protones y deutones con un poder ionizante específico proporcional a  $Z^2$ , cuarta parte de la producida por partículas alfa de análoga velocidad inicial. El alcance es igual en el protón y doble en el deutón, y las energías cedidas son de  $1/4$  y  $1/2$  por ser proporcionales a la masa.

**Captura de electrón orbital.**—En muchos átomos es posible el paso de un electrón, las capas inferiores (K, L...), donde tiene lugar la reacción  $p + e \rightarrow n + \nu$ , con la particularidad de que estos neutrinos son monoenergéticos. Esta captura fué sugerida teóricamente por H. Yukawa y S. Sakata (1936), fenómeno denominado por L. Alvarez (1938) captura K. Las capas corticales del átomo se tienen que reajustar después del proceso anterior, dando lugar a la emisión de una radiación X característica del núcleo formado.

Este proceso difiere esencialmente de la emisión del positrón; sólo da lugar a una pérdida de masa atómica inicial equivalente a la masificación de la energía cinética del neutrino, no requiriendo el mínimo 1,02 Mev. necesario para la creación de los dos electrones.

**Transición isomérica.**—En algunos procesos de desintegración se llega a un núcleo con una excitación metaestable (de duración superior al período de emisión); la energía nuclear superior a la normal es emitida como fotón gamma. Estos isómeros tienen energías de 0.03 a 0.4 Mev. y períodos de décimas de millonésimas de segundo, como el  $\text{Ge}^{72}$ , a 91 días, como el  $\text{Tc}^{97}$ .

**Conversión interna.**—La conversión interna debe admitirse con reserva en este grupo, por no constituir un proceso nuclear propiamente dicho; los fotones gamma emitidos por el núcleo ceden su energía a uno de los electrones corticales, el que da origen, en apariencia, a una emisión nuclear. La posibilidad de la conversión interna fué sugerida por E. Rutherford (1917) y confirmada experimentalmente en algunos de los elementos radiactivos naturales por C. D. Ellis (1921).

Estas emisiones son de aspecto lineal, y su energía corresponde a la diferencia entre la del fotón y la necesaria para liberar el electrón de su capa. Acto seguido se produce un reajuste cortical del átomo, con la correspondiente emisión X.

**Fotones X.**—Los fotones X son debidos a saltos producidos en los diversos niveles electrónicos, como consecuencia del reajuste cortical, según se acaba de indicar. Esta emisión se debe admitir con reserva en este subcapítulo por su origen extranuclear.

La partícula mínima, portador de energía y carente de carga, se denomina fotón. El origen de un par de fotones en sentido opuesto puede tener lugar, de la asociación formada por un positrón y un negatón libre en su trayectoria, de donde sacan la energía, por aniquilamiento de los electrones, o sea que es una energetización de la materia. El proceso de masificación de la energía se obtendría con dos fotones adecuados, dando lugar a un positrón y un negatón.

**Fotones gamma.**—El paso rápido (billonésimas de segundo) de los núcleos de un estado a otro de menor energía, con diferencias de centésimas a algunos Mev., da lugar a los fotones gamma. Se les considera como trenes de ondas electromagnéticas, carecen de carga eléctrica y no ionizan directamente. La energía de un fotón en Mev. está ligada a la frecuencia en segundos recíprocos o a la longitud de onda en  $\text{A}^\circ$  por la fórmula  $E = h\gamma = hc/\lambda = mc^2$ .

La masa del fotón está dada por la fórmula de masificación de la energía  $m = E/c^2$ , expresados estos valores en gramos, electrón voltios y centímetros por segundo. Para un fotón con energía del orden de unidades de Mev., la longitud de onda es de milésimas de  $\text{A}^\circ$  y la masa corresponde a varias veces la del electrón en reposo.

La interacción de fotones gamma y átomos conserva la energía y la cantidad de movimiento y depende de la energía del fotón. En el caso de energías grandes, bastante superiores a 1 Mev. (que corresponde a la masa de dos electrones en reposo) se aprecia el efecto de masificación o formación del par de electrones, ambos análogos salvo las cargas, que uno la tiene positiva y otro negativa. En el proceso se invierte parte de la energía del fotón en energía cinética de los dos electrones recién creados.

Los fotones con energía de 0.5 a 5 Mev., ceden parte de su energía a un electrón no libre, seguido de un aumento de longitud de onda independiente de la energía incidente y un cambio de dirección del fotón. Esta interacción se denomina efecto de Compton (1923), después de algunas colisiones como las señaladas, el cuánto es absorbido fotoeléctricamente. Como reglas generales, se ha de tener

en cuenta que es predominante para pequeñas  $Z$  y energías y la dispersión es proporcional a  $Z$ .

Por último, está el efecto fotoeléctrico del fotón con el átomo, con la cesión de toda la energía del fotón a un electrón de los más próximos al núcleo. Si la energía es suficiente, el electrón es proyectado con dirección sensiblemente normal a la del fotón que lo desprendió y con una energía cinética análoga a la del fotón y la de ligadura atómica. Al proceso sigue un reajuste de los electrones corticales del átomo, con la producción fotones X característicos del átomo.

La absorción de la radiación gamma aumenta con  $Z$ , pero también es función de la energía, pasando la curva de absorción característica de cada elemento por un mínimo, que para el caso del plomo, elemento usado como protector, suele corresponder a 2,7 Mev., aumentando la energía correspondiente a este mínimo con la disminución del  $Z$  del medio.

**Esquemas de desintegración.**—Los esquemas de desintegración nuclear tienen por objeto poner en evidencia gráfica el orden, energía y número de las emisiones de

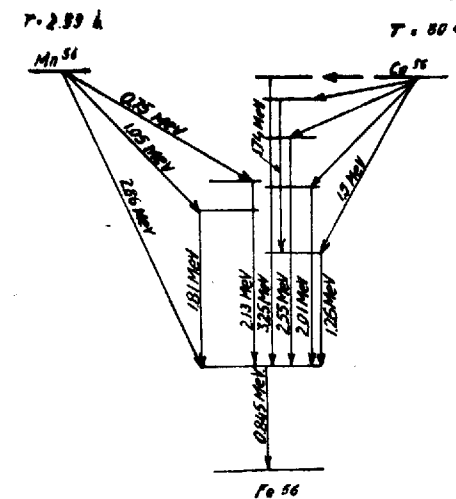


Fig. 1-20. —Esquema de desintegración  $Mn^{56} \rightarrow Fe^{56}$  y  $Co^{56} \rightarrow Fe^{56}$

un proceso de desintegración, así como las asociaciones entre ellas.

En los esquemas existen, como mínimo, dos niveles; el superior, que corresponde al elemento radiactivo cabeza del proceso que se representa, y el inferior, representativo del elemento final. La distancia entre ambos niveles, significa la energía liberada en el proceso; entre ambos existen otras líneas horizontales que representan los estados excitados intermedios, caso de que existan.

Para distinguir los procesos que aumentan el número atómico, como son los de  $\beta^-$ , de los que producen disminución como  $\beta^+$ ,  $\alpha$  y captura K, se representan los primeros de izquierda a derecha y los segundos de derecha a izquierda, mientras que las transiciones con emisión gamma se simbolizan normalmente a los niveles de energía.

Como ejemplo se reproduce del Mattauch el esquema correspondiente al  $Mn^{56} \rightarrow \beta^- + \gamma + Fe^{56}$ ,  $Co^{56} \rightarrow \beta^+ + \gamma + Fe^{56}$  (fig. I-20), donde se aprecian los tres isómeros del  $Mn^{56}$ , con período 2'59 h. y emisiones  $\beta^-$  de 2,86, 1,05 y 0,75 Mev., las dos últimas con las correspondientes de 1,81 y 2,13 Mev. y los cuatro isómeros del  $Co^{56}$  de período 80 d. con emisión  $\beta^+$ , y las correspondientes  $\gamma$ . Tanto las del Mn y Co dan, por último, antes de llegar al  $Fe^{56}$  estable, una emisión  $\gamma$  de 0.845 Mev.

**Cálculo de energía.**—Las mediciones de energía en física nuclear se efectúan en electronvoltios (ev.), que es la energía cinética del electrón que se moviese entre dos puntos sometidos a la diferencia de potencial de un voltio. Es de uso frecuente el múltiplo denominado megaelectrovoltio (Mev.), que corresponde a un millón de electronvoltios.

Para el cálculo de energía son muy útiles los esquemas de desintegración y las tablas de constantes, por consignarse en ambas la energía liberada en cada proceso y el número de los que tienen lugar en la unidad de tiempo. Para efectuar el cálculo en calorías, de la energía liberada por un gramo de un elemento radiactivo durante un año, como se indica en el capítulo VIII, es necesaria la valoración del número de átomos que contiene el gramo, multiplicar este valor por el número de desintegraciones del gramo durante el año, por la energía de cada emisión en Mev. y por el coeficiente de conversión a calorías, que es  $0.382 \times 10^{-13}$ .

## I-8. Determinación de las constantes radiactivas

En los temas que se presentan en el campo de la radiactividad, se tienen que recurrir con frecuencia a las constantes radiactivas del elemento que se utiliza, o bien porque es necesario conocer directamente el número de desintegraciones por unidad de tiempo, o porque se deben conocer otros datos específicos relacionados con el período, como energía, alcance, ionización, etc.

La determinación de los períodos requiere técnicas diferentes, según el valor de éstos. En el caso de períodos muy cortos, que son menores del minuto o como máximo los que alcanzan algunos minutos, es necesario acudir a métodos estadísticos por las dificultades de obtener valores precisos del número de desintegraciones individuales. Los períodos cortos, tomados como tales desde los minutos hasta los días, se determinan por la disminución de actividad de la muestra. Los períodos largos se miden con instrumentos muy bien calibrados, precisamente para este tipo de períodos y para períodos muy largos, como los millones de años; se da la circunstancia de que la actividad específica puede ser tan baja que no acciona el detector, especialmente si sólo existen emisiones alfa o beta, acompañadas de gammas blandas.

Los métodos se clasifican en directos e indirectos; entre los primeros están los fundados en el cómputo de las partículas emitidas, según la fórmula de la actividad o átomos transformados por segundo  $A = \lambda N_0$ ; también se pueden valorar por la constancia del producto  $\lambda a \times N_a = \lambda b \times N_b$ , de donde

$$\lambda a = \lambda b \times \frac{N_b}{N_a} \quad (I-28)$$

o por el alcance de las partículas, según la ley de Geiger-Nuttall (1911). Los métodos indirectos se pueden fundar en la intensidad de ionización por la fórmula  $I = I_0 \exp(-\lambda t)$ ,



en la densidad de ennegrecimiento del medio producido por las partículas  $\alpha$ , etc.

**Períodos muy cortos.** -Para la medida de períodos muy cortos, como son los de  $10^{-4}$  a 1 segundo, existe un método de coincidencia, con un contador, con tiempo variable de resolución, debido a Ward. El fundamento consiste en registrar como coincidencia la llegada de dos pulsaciones separadas un tiempo  $\tau$  en segundos, donde  $\tau$  es el tiempo de resolución. El número de las coincidencias es función de los impulsos  $\eta$  en la unidad de tiempo son

$$C = \eta [1 - \exp(-\eta \tau)] \quad (I-29)$$

Este método tiene la dificultad de que, mecánicamente, no puede apreciar coincidencias correspondientes a períodos menores de  $10^{-4}$  s.

Al introducir una pequeña cantidad de actinón en el contador, cada impulso producido por la desintegración de un átomo de actinón va seguida por impulsos de AcA, que es el elemento de menor período de la serie y de los miembros sucesivos. Suponiendo que todas las desintegraciones que se producen en el contador sean registradas y que el intervalo medio de tiempo transcurrido entre las desintegraciones sea grande, comparado al período de valor medio de AcA, cada pulsación debida a la desintegración de un átomo de actinón va seguida por una pulsación debida a AcA, y la verdadera separación de este par de impulsos será inferior al intervalo medio de tiempo entre las pulsaciones registradas. Para estas condiciones, el número de coincidencias C es

$$C = (\eta_a + \eta_b) [1 - \exp(-(n_a + n_b)T - n_b(1 - \exp(-\lambda/T))/\lambda)] + \eta_b [1 - \exp(-(n_a + n_b + \lambda)T - n_b(1 - \exp(-\lambda/T))/\lambda)] \quad (I-30)$$

en que  $\eta_a$  es el número de pulsaciones por unidad de tiempo,  $n_b$  el número de pares de pulsaciones en correlación por unidad de tiempo, expresándose mediante la probabilidad  $P_\tau = 1 - \exp(-\lambda\tau)$  que la segunda pulsación de un par siga a la primera dentro de un espacio de tiempo  $\tau$  para una constante radiactiva  $\lambda$ .

La velocidad total de recuento es  $\eta_a + 2\eta_b$ . Debe considerarse la significación de las velocidades  $\eta_a$  y  $\eta_b$ . No se tienen en cuenta la correlación de tiempos de las pulsacio-

nes producidas por el AcB y los miembros sucesivos de la serie. Como sus vidas medias son mucho más largas que el tiempo de resolución  $\tau$  (que es el que interesa para la determinación del período de AcA), estas pulsaciones se consideran como recuentos esporádicos, englobados en la velocidad de fondo del contador en el valor de  $\eta_a$ . Algunas de las pulsaciones en correlación de An y de AcA contribuyen asimismo al valor de  $\eta_a$ , ya que la eficacia geométrica del contador no es del 100 % y teniendo en cuenta el período de inercia del contador.

El procedimiento para medir períodos medios consiste en determinar el valor de C para diversos valores de  $\tau$  y determinar también la velocidad de recuento total ( $\eta_a + 2\eta_b$ ). Este método resulta más sencillo para valores de  $\lambda$  superiores a ( $\eta_a + \eta_b$ ), siendo  $\eta_a$  lo menor posible.

**Períodos cortos.** --La medida de períodos del orden de algunos minutos a pocas horas es relativamente fácil, por reducirse al recuento directo de los impulsos. Los diversos recuentos tendrán separaciones en tiempo del orden de varios períodos, realizándose la oportuna corrección, por decaimiento del número de impulsos con el tiempo. Con el objeto de evitar estas correcciones, se han ideado artificios como el de Graves y Walker.

**Períodos largos y muy largos.** --Si el período del elemento es del orden de años, la medida del cambio de actividad con el tiempo es dificultoso, además de la arduidad de mantener inalterable durante años la sensibilidad del equipo de medida. Si, por la duración del período, es posible la observación durante el tiempo de algunos múltiplos de aquél, se facilita su determinación, pero en caso de duraciones superiores a los 10 años, no es aconsejable.

Cuando el período a determinar es del orden de millones de años o mayor, se puede deducir preparando una muestra muy pura y determinar las desintegraciones por métodos gravimétricos.

**Determinación del período en los uranios naturales.** --En muchos de los puntos tratados en este trabajo, se recurre a los períodos del uranio. Por ello, se ha elegido este elemento como ejemplo de determinación de períodos.

Se observan dos grupos distintos de uranios, los isótopos naturales con actividad  $\alpha$  y períodos del orden de millones de años, y los isótopos artificiales con período del

orden de días, como el 237, o minutos, como el 239, ambos con actividad  $\beta$ .

En los isótopos naturales existen los uranios 238 y 235, cabezas de familia radiactiva con período del orden de miles de millones de años, y el 234 de la familia del  $U^{238}$ , con período menor de un millón de años.

Con esta exposición esquemática se ve la necesidad de determinar independientemente los períodos de los dos uranios de mayor número de masa, pero el del  $U^{234}$  se puede determinar en función del correspondiente al  $U^{238}$ , por ser de la misma familia.

La determinación de los períodos grandes por métodos indirectos se efectúa por el alcance de las partículas  $\alpha$ , de acuerdo con la ley de Geiger-Nuttal, por la actividad específica separando el correspondiente isótopo activo, y por la relación  $\lambda_a N_a = \lambda_b N_b$  cuando el preparado ha alcanzado el equilibrio radiactivo.

El primero de estos métodos está fundado en la ley de Geiger-Nuttal, que relaciona las constantes radiactivas, según la cual

$$\log R_0 = A + B \log \lambda \quad (I-31)$$

de las constantes A y B, se ha comprobado que la primera es la misma para cada serie y características de ella, y la B es igual a 0.0174 para todas las familias;  $R_0$  es el alcance y  $\lambda$  la probabilidad de transformación. Se debe advertir que el  $U^{238}$  es una excepción de esta regla, así como el

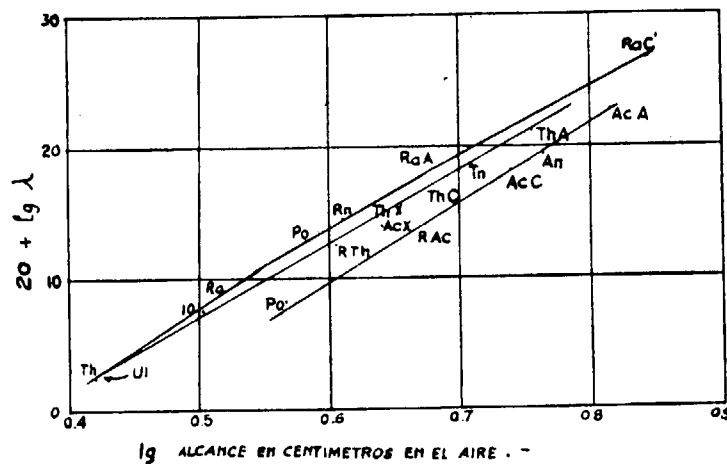


Fig. I-21.—Representación gráfica de la ley de Geiger-Nuttal.

AcX o  $Ra^{226}$ . La fig. I-21 es una representación gráfica de esta ley.

Para la determinación de  $\lambda$  por el método del equilibrio radiactivo, es necesario conocer la relación en que se encuentran los números de los átomos de los dos elementos que se comparan y la constante radiactiva de uno de ellos, dado que  $\lambda_a = \lambda_b \frac{N_b}{N_a}$ . Este método, para el caso

de períodos largos, está limitado en la naturaleza para minerales de edad geológica lo suficientemente grande para que los elementos que se utilicen alcancen el equilibrio radiactivo. Como de los uranios, el que tiene valoración directa menos precisa de su período es el  $U^{234}$ , nos ocuparemos de éste en función del  $U^{238}$ .

La valoración del período del uranio 234, en función del período del uranio 238, se funda en el equilibrio radiactivo de ambos uranios. Si ambos elementos están en equilibrio radiactivo, los números de átomos coexistentes de ambos isótopos son proporcionales a los períodos respectivos  $U^{234}/T_{234} = U^{238}/T_{238}$ . Si la relación de los uranios se determinase con precisión adecuada, quedaría reducido a deducir  $T_{234}$  de la ecuación

$$T_{234} = \frac{U^{234}}{U^{238}} \times T_{238}$$

Al igual que existen valoraciones isotópicas muy útiles del plomo, también lo existen del uranio; éstas se deben efectuar a partir del ión  $UF_5$ , formado por bombardeo electrónico del  $UF_6$ . Al obtener un espectrograma del  $UF_5$  se encuentran tres masas diferentes, correspondientes a cada uno de los uranios, éstos son 329, 330 y 333, según sean del  $U^{234}$ ,  $U^{235}$  y  $U^{238}$ . Las valoraciones correspondientes a cada una de estas masas no tropiezan con las dificultades del análisis espectroquímico ordinario, que van desde el tipo de la excitación hasta el efecto de estado físico de los electrodos, pero es necesario tener en cuenta otras, como las diferentes condiciones del colector, ancho de la rendija, regulación del manantial y presión.

Las valoraciones efectuadas para la «Atomic Energy Commission», por Chamberlain, Williams y Yuster, son  $U^{235}/U^{234} = 141.5$ ,  $U^{238}/U^{234} = 19700$  y  $U^{238}/U^{235} = 139.3$ , valor este último concordante con el deducido por Niers en 1939.

Al aceptar como valor de  $T_{238}$  el de  $4.51 \times 10^9$  años, de Kowarik y Adams, que hemos utilizado en trabajos an-

teriores (115), se deduce para el  $U^{234}$  el de  $(2,29 \pm 0,14) 10^5$  años.

El período del  $U^{238}$  se puede deducir, asimismo, por el método de equilibrio radiactivo a partir del período del radio, teniendo en cuenta que la relación  $Ra/U^{238}$  para el equilibrio radiactivo está en  $3,7 \times 10^{-7}$  y que la del radio se puede deducir por la del radón.

Por la medida del número  $A$ , de partículas  $\alpha$ , emitidas durante la unidad de tiempo, es fácil deducir el valor de las constantes radiactivas, dado que  $\lambda = A/N_0$ , y por lo tanto el otro valor a determinar es el número de átomos que existen del elemento que se determinan sus constantes. En la medida del período del uranio por la actividad  $\alpha$  no se suelen presentar dificultades, es suficiente una cámara de ionización donde se registre el número de partículas  $\alpha$ ; en cambio, en el caso del torio, surge la dificultad del  $RdTh$  y el  $Io$ , este último principalmente si en el mineral original existe uranio. En este caso es necesario conocer la fecha en que se separó el torio, para efectuar la corrección.

Otro método de valorar el período del  $U^{234}$  es a partir de la actividad específica  $\alpha$  de este elemento, en varios ejemplares de uranio con concentración en  $U^{234}$  superior a la normal, pues conocidos el sistema de desintegración y la concentración se puede deducir el período.

Una de las operaciones consiste en determinar el enriquecimiento en  $U^{234}$ , factible de ejecutarse con bastante precisión con el espectrógrafo de masas, por los iones  $U^{236}F_5^+$  y  $U^{234}F_5^+$ . Utilizan Chamberlain, Williams y Yuster un contador relleno de argón a 1,5 atmósferas, conectado a un amplificador lineal con una resolución de 20  $\mu$ seg. y escala 64. El uranio se deposita en forma de capas finas  $U_3O_8$  en dos láminas de platino de 3 cm. de diámetro. Estas valoraciones las someten a determinadas correcciones, como son la de coincidencia, espesor, fondo y eficiencia. La primera debida a la resolución del contador, la segunda y tercera no necesitan aclaración, la última se efectúa por haberse comprobado que sólo 51,3 % de las desintegraciones son registradas por contador. Con esta técnica, Chamberlain, Williams y Yuster computaron  $2,407 \times 10^8$  desintegraciones por segundo y por gramo de uranio, que corresponde a un período de  $(2,35 \pm 0,14) 10^6$  años.

Por el estudio de los plomos radiogénicos se puede deducir el período de los uranios; así lo ha hecho Niers, y ha comprobado que las series de actinio tienen una actividad

de 4,6 % de la correspondiente a las series del uranio. Teniendo en cuenta la relación en que actualmente están los uranios, llega a determinar el período del uranio 235 en función del uranio 238 como  $7,13 \times 10^8$  años.

También se pueden determinar los períodos teniendo en cuenta el calor desprendido por los fenómenos radiactivos, con la condición de que las mediciones del calor se pueden efectuar con la precisión superior al 1 %, pero de todos modos este método no lo consideramos recomendable para el caso de períodos largos, como son los de los uranios, por el pequeño efecto calorífico.

Mediciones de períodos largos se han intentado con emulsiones fotográficas; muestras de ellas son los interesantes trabajos de Yagoda y Kaplan en 1947, para lo cual es necesario conocer la masa del uranio y valorar el número de partículas  $\alpha$  del alcance correspondiente, que han impresionado la emulsión fotográfica.

## 1-9. Obtención de isótopos radiactivos

Los isótopos radiactivos tiene enorme importancia en la ciencia y en la técnica, las aplicaciones terapéuticas aumentan por momento y son una gran ayuda en muchos trabajos. Actualmente se obtienen cantidades elevadas de isótopos radiactivos y se venden en el mercado al igual que otros productos químicos, salvo algunos que, por su mayor escasez, requieren indagaciones por parte de los centros expendedores para asegurarse de una aplicación interesante de los mismos, dándose preferencia, en general, a las investigaciones biológicas.

Por técnicas radiactivas naturales de laboratorio, económicas y sencillas, se pueden obtener cantidades pequeñas de isótopos radiactivos sin recurrir a los aceleradores, como ciclotrón, betatrón, sincrotrón, etc.

Para su obtención, se ha de ver la manera de producirlos con el mejor rendimiento, que en algunos casos se consigue por la concentración previa de isótopos adecuados para ser blancos del bombardeo. La separación de isótopos radiactivos obtenidos es fácil, si hubo cambio de  $Z$ , por ser diferentes elementos químicos el blanco y el obtenido; pero si se mantiene el  $Z$ , de no aplicar las técnicas de separaciones isotópicas, se tendrá que recurrir a los procesos dados en 1934 por Szilard y Chalmer, principalmente para

concentrar isótopos procedentes de las reacciones  $(n, 2n)$  y  $(n, \gamma)$  cuando se ha roto el enlace químico con la molécula.

El proceso de las reacciones nucleares se desarrolla muy rápidamente, del orden de la millonésima de segundo, con la puesta en juego de una energía elevada, dando lugar a reacciones irreversibles, salvo la fotodesintegración del deuterón  $H^2 (\gamma, n) H'$ , por admitirse como reversible de  $H' (\gamma, n) H^2$ . En la anotación de Bothe, que es la más usada, se escribe primero el elemento que hace de blanco, entre paréntesis las partículas incidente y desprendida, a continuación el isótopo producido y, por último, la energía liberada o absorbida, con el signo más o menos, según que la reacción sea exoenergética o endoenergética.

Si se revisan los medios naturales de producir isótopos radiactivos, se tienen que desechar los que utilizan como partículas incidentes las beta y alfa por la poca energía, aunque con ellas se consiguieron desintegraciones sumamente interesantes, algunas de las cuales se mencionan en el subcapítulo de historia. Con las emisiones gamma ocurre lo mismo; el elemento que las emite con más energía es el  $ThC''$ , con 2,62 Mev., que no alcanzan la media docena de Mev. necesarios para producir la reacción, salvo la fotodesintegración del deuterón y el berilio  $Be^9 (\gamma, n) Be^8$ , para la que se necesitan 1,6 Mev.; tampoco son utilizables los rayos X ordinarios. Las únicas partículas utilizables con éxito son los neutrones, que, por carecer de carga, llegan fácilmente al núcleo sin ser repelidos eléctricamente. Se producen los neutrones por la acción de las partículas alfa del radio, radón o polonio, sobre elementos de  $Z$  pequeño, como el berilio, según la ecuación  $Be^9 (\alpha, n) C^{12}$ , los neutrones producidos alcanzan los 13 Mev., con la obtención de un neutrón por cada 3.000 partículas alfa, que corresponde a 400 n/srd. o por la acción de la radiación gamma, como la del RaC, según la ecuación  $Be^9 (\gamma, n) Be^8$ , dando neutrones de una energía 0.51 Mev. y menor rendimiento, 0.8 n/srd.

Con estos neutrones lentos se pueden obtener reacciones nucleares del tipo  $(n, \gamma)$ , denominados capturas radiactivas, que dan igual  $Z$  que el blanco, el rendimiento es muy elevado, dando lugar a isótopos con radiactividad beta, como consecuencia del aumento de la relación  $n/p$ . En la obtención del isótopo radiactivo, desempeña un papel fundamental la sección de captura para el tipo utilizado o probabilidad de reacción que relaciona el número de blancos logrados con el de partículas actuantes. Esta

constante se expresa en barn, que equivale a  $10^{-24} \text{ cm}^2$ . El valor disminuye para las partículas cargadas y es función de la energía de la partícula incidente, y dimensionalmente equivale a un área ideal sometida a la acción de la radiación. De esta manera resultan fáciles de obtener, entre otros elementos radiactivos, los que figuran en el adjunto cuadro:

Isótopo activo	Período	Isótopo blanco	Abundancia blanco, %	Sección de captura blanco, en barn
$P^{32}$	14.07d	$P^{31}$	100	0.23
$Mn^{56}$	2.59h	$Mn^{55}$	100	10.7
$As^{76}$	1.187d	$As^{75}$	100	4.2
$Ag^{108}$	2.44m	$Ag^{107}$	51.92	23.1
$Ag^{110}$	225d	$Ag^{109}$	48.08	1.1
$Ag^{110}$	24.5s	$Ag^{109}$	48.08	46.6
$I^{128}$	24.99m	$I^{127}$	100	6.25
$Au^{198}$	2.66d	$Au^{197}$	100	96.4

Existen unas fuentes extraordinarias de neutrones, que son los reactores nucleares conocidos vulgarmente, desde 1942, por la denominación de pilas de uranio; en ellos, además de los neutrones, se obtienen cantidades grandes de productos de escisión, radiactivos en muchas ocasiones. Estos manantiales de energía natural son objeto de otro subcapítulo.

## I-10. Reactores nucleares

Uno de los momentos más emocionantes en la investigación atómica, debió ser el de aquella mañana invernal (2-XII-1942) de los laboratorios de Chicago, donde estaban reunidos Enrice Fermi, Arthur Compton y otros eminentes hombres de Ciencia, para presenciar la primera reacción en cadena, punto de partida de los progresos en las aplicaciones pacíficas de la energía atómica, como ocurre con la fábrica de plutonio de Hanford, estado de Washington, donde el calor generado da lugar, en el proceso de refrigeración, a la elevación de la temperatura de las aguas del río Columbia. En la actualidad se proyecta la construcción de

reactores grandes para transformación de la energía nuclear en eléctrica y la propulsión de submarinos y aviones por reacciones nucleares.

Los reactores nucleares transforman en aplicación práctica las manifestaciones energéticas y la generación de neutrones, éstos en cantidad suficiente para la obtención industrial de elementos por bombardeo explosivo de los núcleos, según la reacción ( $n, \gamma$ ).

Una de las aplicaciones de la energía atómica es como manantial calorífico, y se extrae del reactor por medio de un fluido refrigerante que circula por la pila. En los reactores es importantísima la producción de neutrones, que alcanzan un flujo hasta  $10^{12}$ /sg. cm.<sup>2</sup> sobre un área considerable.

Los problemas metalúrgicos, físicos y mecánicos, que plantea la construcción de un reactor, son delicados, pero los conocimientos básicos para su resolución están perfectamente dominados, gracias a la colaboración existente en cada país entre los especialistas de las diversas materias, desde el rudo minero hasta el más delicado operario de electrónica; sin esta compenetración no es acertada la construcción de los reactores nucleares.

Se denominan reactores nucleares a los sistemas reaccionantes en progresión, en los que la energía liberada por la escisión atómica (U, Pl, etc.), se efectúa en condiciones predeterminadas. Los reactores, por la manera de conducirse, se pueden clasificar en supercríticos, críticos o subcríticos. En el primer caso, los neutrones de cada escisión dan lugar a más de una, con una densidad de neutrones en aumento constante y factor de reproductibilidad superior a uno; en el segundo caso, que es el de estabilidad, la densidad neutrónica es constante, y en el tercero disminuye con un factor de reproductibilidad menor de uno.

Por el principio en que se funda su construcción, los reactores pueden ser de neutrones lentos o de neutrones rápidos.

Los reactores de neutrones lentos, como producen neutrones de un Mev., es necesario reducirles su energía a 0.03 Mev., lo que se consigue con átomos de número másico bajo y capacidad reducida para la absorción de neutrones, denominados moderadores, como son el grafito, agua pesada, agua común, etc.

Dentro de esta clasificación, los reactores pueden ser homogéneos y heterogéneos. En los primeros, están en una mezcla íntima, en disolución o dispersión, los dos materiales que intervienen fundamentalmente, que son: el

escindible y el moderador. Como ejemplo de ésta figura el de Los Alamos, donde el U<sup>235</sup> está bajo la forma de sal de uranio, disuelta en agua común, que actúa como moderador. En los segundos, el material escindible está distribuido en acumulaciones de dimensiones importantes, como trozos o barras. Los ejemplos de ésta son: con moderador de grafito, los de Oak Ridge, Hanford y Harwell; con moderador de agua pesada, los de Chalk River, Châtillon y Argone N. L.

Como ejemplo de reactor de neutrones rápidos, se puede citar el de Los Alamos, de Pu<sup>239</sup>, que no necesita moderador.

Los reactores heterogéneos de grafito se construyen con una masa de grafito muy puro, atravesada de un lado a otro por cilindros de uranio protegidos con hojas finas de aluminio. El rendimiento de neutrones, así como el de plutonio, se mejora si el uranio se coloca en porciones pequeñas, con disminución en el rendimiento calorífero. El bloque de grafito y uranio tiene una doble envolvente: la primera de grafito, con el objeto de reflejar los neutrones y mejorar el rendimiento de la pila; la segunda es de hormigón, acero, etc., y actúa como pantalla de seguridad del personal.

Los reactores heterogéneos de agua pesada consisten en un tanque de aluminio lleno de agua pesada, que sirve a la vez de moderador de electrones y como fluido refrigerador, en el que están sumergidas barras de uranio u óxido de uranio comprimido, con protección de aluminio. Estos reactores tienen una doble protección, como los de grafito, con fines análogos.

En los reactores se puede mejorar el rendimiento si se aumenta la proporción de materia fisible; para ello es suficiente un enriquecimiento artificial del U<sup>235</sup> e incluso del Pu<sup>239</sup>, con una mayor densidad de neutrones y menor volumen para igual potencia.

Es grande la importancia de la pureza del grafito, en las pilas que tiene a éste como moderador, por equivaler sus impurezas a una reducción en la sección de captura de los núcleos reaccionantes. La difusión externa de los neutrones disminuye en los generadores en proporción con el aumento del tamaño de la pila, denominando el tamaño crítico al que alcanza una producción y utilización de los neutrones suficientes para su autosostenimiento, dimensiones que deben rebasarse al construir los reactores.

## I-12. Riesgos radiactivos y protección

Uno de los problemas sociales más importantes que se presentan en la radiactividad natural, es el riesgo para la salud de los productores, debido unas veces a la exposición de su cuerpo a las radiaciones; como ocurre a los que manejan y purifican las sales de radio, y otras a la inhalación e ingestión involuntaria de elementos radiactivos, como sucede a los mineros y obreros de los talleres de preparaciones minerales. Estas causas pueden originar lesiones reversibles e irreversibles, que degeneran en una invalidez profesional, quizá sólo para las industrias radiactivas. Ejemplo de éstas son las induraciones pulmonares, consideradas por los investigadores médicos como tumores locales, producidos por la inhalación de sustancias radiactivas, como el radón, polvillo de sustancias radiactivas, etc., que en muchos casos llegan a provocar tumores bronquiales malignos, como los que se pusieron de manifiesto, en los primeros pasos de la minería del uranio, en San Joaquín y en Schneberg, debiendo fijar para el minero, como niveles tolerables al año, en uranio natural  $5,1 \times 10^{-9}$   $\mu\text{c/s.}$ , o en el aire de la mina o taller  $3,8 \times 10^{-6}$   $\mu\text{g/cm}^3$ , o en radón  $10^{-5}$   $\mu\text{c/cm}^3$ . Las aguas de aseo, si se utilizan las de la mina, no deben contener en radio más de  $4,4 \times 10^{-6}$   $\mu\text{g/cm}^3$ . En ningún caso se omitirá la verificación médica periódica del personal.

Al Ingeniero se le plantean problemas de este tipo, desde las labores de reconocimiento de las minas de uranio, al almacenamiento de los productos radiactivos puros y manera de verse libre de los productos radiactivos de desecho, etc. Este se ha resuelto unas veces por diluciones y otras por su estiba en depósitos adecuados, sumergidos en el mar o instalados dentro de las minas abandonadas.

Cuando el productor llegue a incapacitarse, debe estar protegido legalmente, al igual que ocurre con otras enfermedades profesionales de las industrias minerometalúrgicas, como silicosis, hidrargirismo, etc.

En todos los países se observa el interés despertado por el problema de la seguridad del productor que actúa en estos ambientes radiactivos, mereciendo mención es-

pecial las publicaciones «National Nuclear Energy Series». En nuestro país se ha considerado este problema, y se comenzó por aprobar, en el Primer Congreso de Medicina, Higiene y Seguridad del Trabajo (1947), la ponencia de los profesores Gil y Gil y Palacios, sobre normas de protección para la exposición a las radiaciones gamma de elementos naturales. Esta interesante aportación, desde el punto de vista de protección, no es suficiente, y debe darse cabida en el Reglamento de Policía Minera y Metalúrgica a las directrices que se han de observar conducentes a la seguridad e higiene de las minas de minerales radiactivos y sus fábricas correspondientes, principalmente de los establecimientos orientados a la construcción de reactores nucleares, aplicación fundamental de la metalurgia del uranio.

Todo productor e investigador en el campo de la radiactividad natural, conviene esté orientado en tres puntos fundamentales, que son: 1.º Lesiones que puede originarle su trabajo, con las modalidades de irreversibles, reversibles e irreversibles condicionadas, así como totales, locales e internas. 2.º Nivel de tolerancia o exposición a que puede estar sometido, sin que exista riesgo de lesión, y 3.º Protección contra las radiaciones mayores que las toleradas, así como ante la inhalación o ingestión de productos radiactivos.

**Lesiones.**—Los daños ocasionados por las radiaciones en las células vivas, son proporcionales en general a la ionización producida en su estructura y diferentes para los diversos tipos de ionización, más perjudiciales en los casos de ionización local interna por partículas alfa y protones, que cuando se trata de ionizaciones de menor intensidad, como las originadas por los rayos gamma.

Para que los agentes radiactivos lleguen a producir reacciones biológicas, es necesario alcanzar el valor umbral; cuando éste se rebasa, aparece pronto la lesión, pero en general se observa, aun en radiaciones intensas, que la destrucción sólo alcanza una porción pequeña de las células, que se pueden regenerar si transcurre suficiente espacio de tiempo entre las exposiciones. Este proceso regenerador no existe para algunas células, como parte del ojo, cerebro y algunos tejidos musculares.

Las lesiones son unas locales, como en la piel, generalmente de las manos y cara, así como depilación, que en algunos casos pueden llegar a crónicas, si son originadas por exposiciones mínimas múltiples, como ocurre con las

lesiones de los preparadores que trabajan en los establecimientos de concentración de sales de radio. Las lesiones crónicas tienen el peligro de malignizarse por otro agente cualquiera.

La exposición letal para el hombre es de 500 r. e.; provoca alteraciones con características de intoxicación general, afectan principalmente al sistema formador de sangre, aparato gastrointestinal, aparato productor no genético, sistema óseo y efecto cancerígeno.

Además de los riesgos antes indicados, existen los genéticos, que al parecer pueden tener importancia elevada para futuras generaciones, sobre todo en casos de exposiciones masivas, como fueron las de Nagasaki e Hiroshima, punto que, hasta la fecha, no está suficientemente investigado.

**Niveles de tolerancia.** — Se puede establecer el nivel de tolerancia, para cualquier tipo de radiación y exposición, en 0.1 r. e. b. por jornada laboral de ocho horas o su análogo 0.6 r. e. b. por semana.

Un efecto lesional puede alcanzarse con partículas que tengan o pasen de los 32.5 ev. necesarios para producir un par de iones que puedan condicionar un efecto biológico, límite rebasado considerablemente en la práctica.

Para cada tipo de radiación se han emitido diferentes opiniones sobre las dosis permisibles, de las que resumimos las más importantes. En los estudios efectuados por Lorenz y sus colaboradores con radiaciones gamma en el campo de las radiaciones indiferentes, creen que con el nivel antes indicado (0.1 r. e. b./día) no se operan lesiones genéticas apreciables, aunque opinan que para la mujer debía rebajarse el indicado nivel a la quinta parte (0.02 r. e. b./día) por la sensibilidad del ovario, y sostienen que, en general, no hay inconveniente en elevar la exposición local, como en las manos, a 1 r. e. b./día, si el resto del organismo no rebasa el nivel de tolerancia ya señalado.

Si las partículas beta son poco energéticas, no atraviesan la capa córnea de la piel, que actúa como protección, pero la mayoría de los isótopos radiactivos, con emisión beta, originan partículas con energía suficiente para atravesar esta capa pasiva dérmica (del orden de 7 mg/cm.<sup>2</sup>) y pueden dar lugar a lesiones que deben tenerse en consideración.

Está en pleno período de estudio la eficacia biológica relativa a los neutrones rápidos, por lo cual es difícil establecer un criterio de tolerancia, pero se puede admitir di-

rectamente el de Mitchell, que para una jornada de ocho horas recomienda que el flujo a que está sometido el productor no exceda de 20 neutrones/cm.<sup>2</sup> s.

Las partículas alfa no atraviesan la capa córnea de la piel, debido a su poco alcance en este medio, por lo que no existe riesgo alguno a una exposición externa a esta radiación, a no ser que sean aceleradas lo suficiente para poderla atravesar.

En las industrias radiactivas tiene mucha importancia el efecto biológico producido por las sustancias radiactivas que penetran en el organismo, tanto por ingestión como por inhalación. El contenido máximo de radio elemento en el organismo es de 0.015 µg.; a su actividad correspondiente denomina Rajewsky dosis de tolerancia, para la que se acepta una intensidad de 10<sup>-7</sup> r/s., aunque se puede admitir un depósito tolerable en todo el organismo de 0.1 µg. de radio elemento.

El depósito producido por ingestión, para la misma cantidad de radio, es del orden de un quinientosavo del producido por inhalación, razón para la que a estos últimos riesgos se le dé más importancia. De los primeros casos de concentraciones mayores de la tolerancia, son las originadas por ingestión en los pintores que trabajan con pinturas luminosas, y por inhalación de emanación en los cánceres bronquiales de los mineros, como los de Schneeberg.

Parece ser que los riesgos de inhalación con los elementos trasuránidos, de manejo frecuente en los establecimientos anejos a los reactores de uranio, son considerables. En el caso del plutonio sólo se admite, como nivel de tolerancia, 3 × 10<sup>-11</sup> µc/cm.<sup>3</sup> por día laboral, sin que en ningún caso se llegue, durante la vida del productor, a depósitos mayores de un gramo de plutonio.

La ingestión de partículas activas, principalmente con emisión alfa, es muy peligrosa, por su posible localización en tejidos, donde se puede producir una intensa ionización seguida de la correspondiente destrucción celular, como ocurre con el radio, localizado preferentemente en la médula, con el correspondiente perjuicio para la generación de los glóbulos rojos.

**Protección.** — Las protecciones a establecer en las industrias radiactivas, son las comunes a los establecimientos industriales que tiene gases o polvos nocivos en suspensión, y son: ventilación intensa, utilización de máscaras de protección, prohibición de comer, beber o fumar en

las zonas contaminadas, así como el empleo de trajes especiales para el trabajo, que se deben depositar en las salas de aseo en sitio diferente de los de paseo. Si se opera y manipula con productos de radiactividad superior a la tolerada, se ha de establecer una previsión específica, consistente en intercalar entre el producto radiactivo y el trabajador un cuerpo que absorba la radiación; además, se recurrirá a la utilización de manipuladores.

Para las radiaciones alfa, la protección es sencillísima por su poco alcance; para las gamma y beta, se emplean en la construcción de las pantallas protectoras elementos de masa atómica elevada, como el plomo, alcanzándose una seguridad absoluta si se le da suficiente espesor. En los cálculos se tendrán en cuenta, para los rayos beta, el límite superior de energía de su espectro.

El problema de protección de los neutrones requiere materiales de masa atómica baja, como el hidrógeno, por lo que se recurre al agua y a la parafina.

Como elementos complementarios e imprescindibles de seguridad, se deben tener en todo establecimiento industrial, o que se investigue en el campo de la radiactividad, detectores adecuados para indicar si las sustancias ingeridas o el aire inspirado están contaminados y en qué grado, así como para descubrir las contaminaciones de equipos e instalaciones y qué zonas pasan del nivel de tolerancia. También es necesario el material adecuado para la verificación médica periódica, que es imprescindible.

## II. LOS ELEMENTOS RADIATIVOS Y LOS RADIOGÉNICOS

Existen dos clases de elementos, con importancia fundamental para los estudios que figuran en los capítulos sucesivos: Los radiactivos, o sea aquellos inestables que dan lugar a configuraciones de menor energía, y los radiogénicos o generados por procesos radiactivos.

### II-1. La materia primigenia

En varias ocasiones hemos sostenido la idea de la procedencia de la materia única primitiva (110, 112, 115), tanto de nuestro planeta como de todos aquellos astros de los que recibimos fragmentos bajo la forma de meteoritos, de cuantos planetas se puede determinar su composición por métodos astrofísicos, así como de ese 50 % de la masa finamente dividida, existente en el espacio interestelar. Una de las fuentes que afianzan esta idea es la identidad de composición isotópica de los meteoritos con nuestro planeta; también contribuye a la firmeza de esta hipótesis la igualdad en el contenido relativo de las diversas especies atómicas. Como ejemplo, se pueden citar los análisis



de Brown e Inghram (25), que dan para la relación  $\text{Cu}^{68}/\text{Cu}^{66}$ , del Cañón del Colorado, 2.24, mientras que en las tablas de isótopos figura para los terrestres 2.22, o sea una diferencia del orden de la precisión de las medidas. Estos mismos investigadores tienen trabajos inéditos sobre la identidad isotópica del níquel y del cromo. Sostienen Valley y Anderson (166 y 166 bis) la identidad de composición isotópica del hierro terrestre con el procedente de los meteoritos, de acuerdo con los estudios efectuados con los isótopos de masas 54, 56, 57 y 58. El galio terrestre lo comparan Inghram y Hess (74) con el procedente del meteorito del Cañón del Diablo, que tiene  $38 \times 10^{-6}$  y dió para la relación  $\text{Ga}^{69}/\text{Ga}^{71} = 1,509$ , mientras que para el terrestre es 1,510. Los trabajos de Macnamara y Thode (126), sobre la comparación de la composición isotópica de los azufres terrestres y meteoríticos, les permite afirmar que en los diez meteoritos estudiados, la relación  $\text{S}^{32}/\text{S}^{34}$  varía de 22.20 a 22.24; las diferencias son del orden del error de los métodos, lo que nos afirma en nuestra antigua hipótesis de un origen común. En este trabajo de Macnamara se observa una particularidad: es la variación de dicha relación para las diferentes muestras de origen terrestre, de 21.60 a 22.60, atribuible a las acciones biológicas y geológicas. Esta identidad también es parecida para el potasio, calcio y titanio, según los estudios de 107 meteoritos, efectuados por Brown y Patterson (26). La identidad de composición isotópica se puede evidenciar por métodos diferentes a los seguidos con el espectrógrafo de masas; uno de los más aconsejables es con el empleo de contadores; de esta manera determinaron Schumb y Evans (152\*) valores análogos para la relación  $\text{Pa}/\text{Ra}$ , y, como consecuencia, la  $\text{U}^{235}/\text{U}^{238}$ , procedente de ejemplares terrestres y meteoríticos, así como para la proporción del  $\text{K}^{40}$  en las muestras

de potasio, tanto terrestres como extraterrestres (152\*\*). Con otras técnicas diversas se ha deducido, para varios elementos, la identidad de composición isotópica.

Vista la identidad de composiciones isotópicas de los planetas y la química demostrada por los meteoritos y por los estudios espectrales del universo, se ve un orden incompatible con procesos no relacionados entre sí, por lo que sostenemos la unificación de procedencia a partir de la materia inicial común, compatible con la posible existencia de algunas diferencias isotópicas, producidas espontáneamente en la naturaleza por condiciones adecuadas de gradiente de temperatura, campo magnético, etc., las que no se han comprobado salvo para elementos muy ligeros. Se puede afirmar la unidad de la materia cósmica, desde la más débil de las nebulosas espirales, situadas a cientos de miles de millones de años de luz, hasta la brillante Sirio, a 8.62 años luz, y admitir la materia única creada en el principio, o materia primigenia gaseosa, compuesta por neutrones, con densidad y temperatura elevadas, a partir de la cual se formaron todos los elementos.

## II-2. Proceso de formación de los elementos

Los estudios de física nuclear pusieron de manifiesto la energía subatómica, consecuencia de la transformación parcial o completa de la masa en energía.

La masa, velocidad y energía están relacionadas por una función en la que la energía posee una masa igual a su cociente entre el cuadrado de la velocidad de la luz, con-

cepto resumido por Einstein en su generalización de la ley de la inercia de la energía: «Toda forma de energía posee cierta inercia, y la masa de una cantidad de energía está determinada por el cociente de esta energía entre el cuadro de la velocidad de la luz». De acuerdo con esta ley, y si además se tiene en cuenta la comprobación efectuada de la masificación de la energía radiante y recíprocamente, se puede decir que en todo cuerpo que irradia o absorbe energía en la forma de luz, calor, etc., se produce una pérdida o aumento de su masa igual al cociente de esta energía entre el cuadrado de la velocidad de la luz, equivaliendo 1 g. masa a  $25 \times 10^6$  kw./h ó  $2.15 \times 10^{14}$  cal. y recíprocamente.

Sería interesante una revisión de los núcleos atómicos para el establecimiento de algunas conclusiones: Al empezar por los más elementales, protio y helio, se ve que la suma de las masas de cuatro átomos del primero, es mayor que la correspondiente a uno del segundo elemento. Al formarse un átomo de helio, a partir de cuatro de protio, hubo pérdida de masa nuclear, con emisión de la energía equivalente a esta pérdida de masa, por lo cual nunca se podrá presenciar la desintegración espontánea de un átomo de helio, pero sí su síntesis, a partir del protio o del deuterio, si reúnen determinadas condiciones.

Al admitir que los átomos están formados por neutrones, protones y electrones, y determinar la masa de cada átomo, se aprecia que es diferente de la suma de las correspondientes a las tres clases de constituyentes, denominando Aston «fracción de compacidad» a la pérdida de masa por unidad másica del núcleo.

De esta observación se deduce un criterio de estabilidad de los núcleos para emisiones  $\beta^+$ ,  $\beta^-$  y K; lo es que sus pesos atómicos sean menores que los de los núcleos

de igual número másico, pero diferenciados en una unidad de carga en más o en menos.

Los defectos másicos aludidos se representan en la fig. II-1, tomada de Rosenfeld; en su doble representación se ven las energías de ligado  $|e|$  de cada elemento en Mev. o el valor de ésta por nucleón  $\frac{|e|}{A}$ . Al analizar la curva de energías de ligado se aprecia que para la casi totalidad de los elementos está comprendida por 8.25 y 8.76 Mev., salvo para los más ligeros y los más pesados. El máximo de las energías de ligado que corresponde a los elementos más estables es superior a 8.76 Mev. y corresponde a  $V^{52}$ -8.777, Cr<sup>52</sup>-8.830 y Ni<sup>64</sup> con 8.760.

Como consecuencia de estas observaciones se pueden establecer cuatro conclusiones:

1.<sup>a</sup> La emisión natural de partículas alfa, es más probable en elementos de elevado número másico; actualmente, el núcleo de menor número másico con emisión  $\alpha$  reconocida es el Sm<sup>147</sup>.

2.<sup>a</sup> En otras ocasiones hemos sostenido nuestra opinión contraria acerca de la existencia actual de elementos transuránicos naturales (no artificiales) en proporciones considerables, fundada en diversos razonamientos. El principal, es la pequeñez de los períodos, pues al formarse en la naturaleza el Np<sup>238</sup> y el Np<sup>239</sup>, conseguidos también artificialmente, tuvieron que pasar rápidamente a plutonio, dado que sus períodos son 2.0 d. y 2.3 d. Estos Pu<sup>238</sup> y Pu<sup>239</sup> con períodos de 50 a. y  $2.4 \times 10^4$  a., también relativamente cortos, respecto a los miles de m. a. que hace ocurrió, dieron lugar a que se transformasen totalmente en U<sup>234</sup> y U<sup>235</sup>. Se puede deducir por la gráfica (fig. II-1), la gran cantidad de energía necesaria para la formación de

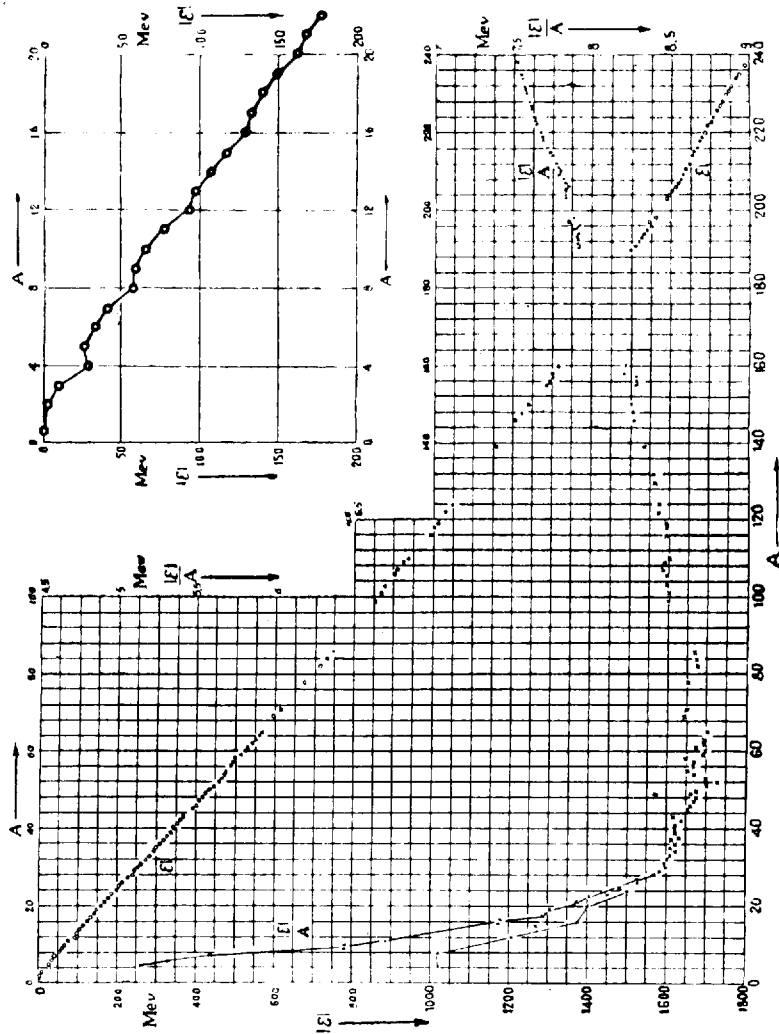


Fig. II-1. — Curvas de energía de ligado.

los elementos transuránicos, así como la gran inestabilidad para poder subsistir, y que rápidamente evolucionarían los núcleos transuránicos, hacia otros más estables, con una disminución de la energía potencial.

3.<sup>a</sup> La escisión total de los núcleos pesados es ruinoso; debe quedar limitada, como máximo, a elementos finales de masas no muy alejadas de 50, bien en su primera o subsiguientes transformaciones.

4.<sup>a</sup> La liberación de energía por síntesis sólo puede tener lugar por la obtención de elementos con masas inferiores a 50 u. m. y que, además, produzcan elementos con menor masa que la suma de los correspondientes a los dos elementos que reaccionan.

Con estos fundamentos, se puede seguir el proceso de formación de los elementos, ayudados por los conocimientos actuales de la Física, tal como se supone sucedió para un observador situado en nuestro planeta.

El paso fundamental de la Creación, desde el punto de vista material, fué la creación de la materia bajo la forma de masa, o bajo el doble estado de masa y energía. Se inicia inmediata, pero lentamente, la síntesis de aquella materia, que tenía que estar en la forma de máxima sencillez, como son los neutrones. Casi toda la materia hoy existente se reducía a una cantidad enorme de partículas atómicas de masa 1, formando un conjunto muy compacto, debido a la rápida evolución del neutrón libre, para originar un protón y un electrón.

Conviene fijar físicamente, el momento y condiciones de la formación de los núcleos de los elementos, a partir de la materia primigenia; ésta tuvo que ocurrir en el estado preestelar del universo; en caso contrario, no se apreciaría la identidad de composición isotópica expuesta anterior-

mente. De aquel gas neutrónico primitivo que estaba sometido a temperatura elevada, en los primeros pasos de la expansión material, se pasó por emisión  $\beta$  de los neutrones a los protones y cuando la temperatura descendió lo suficiente, tuvo lugar la captura por los protones de los neutrones libres.

A partir de los protones y neutrones, los elementos se fueron formando por orden de complejidad nuclear. Las primeras síntesis que tuvieron lugar fueron las del deutón y helio, con un gran desprendimiento de calor a costa de la pérdida de masa. Al estar entremezclados los núcleos de hidrógeno y helio, se produce una nueva síntesis para dar lugar al núcleo de litio. Los núcleos atómicos se van complicando. Se forman los núcleos de potasio con masas diferentes: la del más abundante es 39, la del otro isótopo es 40 y tiene radiactividad  $\beta$ . El  $K^{40}$  es el elemento más ligero que se conoce con esta actividad. Las síntesis exotérmicas continúan, se llega a los elementos de masa 50, a los que corresponde el máximo de pérdida de masa, y, por consiguiente, a la época en que el calor desprendido por unidad másica del átomo a expensas de la masa inicial es mayor. Los núcleos se siguen complicando, aumenta la captura neutrónica y tiene lugar la síntesis del rubidio de masa 87, segundo elemento conocido con actividad natural  $\beta$ . Cada vez el calor desprendido es mayor y la temperatura alcanza cifras extraordinarias. Continúan las reacciones exotérmicas y se pasa a un momento de coexistencia con las endotérmicas, correspondiente al máximo supercalentamiento de la materia; de este tipo es la formación del núcleo del  $Sm^{147}$ , elemento de masa menor entre los de actividad  $\alpha$ . El calor de la materia inicial va disminuyendo lentamente y, por lo general, es mayor la cantidad de energía calorífica transformada en su masa equivalente

cuanto más pesados son los núcleos formados. Con el transcurso del tiempo, se llegan a formar los núcleos de uranio, con sus isótopos, el más frecuente o uranio I o el más raro denominado actinouranio. La energía sobrante, fué todavía tan elevada que dió lugar a las síntesis endotérmicas de los núcleos transuránicos, isótopos de los obtenidos ahora artificialmente, los que requerían cantidades enormes de energía, causa de su grandísima inestabilidad, por lo que, según nuestra opinión, debieron desintegrarse antes de formada la corteza terrestre.

Los átomos actuales en aquel inmenso laboratorio natural, tan admirablemente regido, estaban reducidos a su núcleo con movimientos violentos e irregulares que ayudaban a su separación y esparcimiento. Al faltarles la protección de las capas electrónicas, se facilitaron enormemente los procesos sintéticos indicados, sucediéndose las transformaciones nucleares con más sencillez que ahora conseguimos las corticales. Al descender la temperatura, los electrones ocuparon el puesto que les correspondía, dando lugar a los átomos que hoy se manejan tan familiarmente. Se ordenaba el caos atómico que aparentemente reinaba.

Es probable, que los elementos no se formasen tal como están hoy, sino que tuviesen, en general, un exceso de neutrones y que por emisión  $\beta$  dieron lugar a los actuales elementos estables, ya que es posible llegar a ellos a partir de otros que pudieron ser naturales y que no parecen existan hoy, tanto con períodos de milisegundos como en el proceso  $Ba^{132} \rightarrow C^{132} + \beta$ , o de 100 millones de años, como es el caso  $I^{129} \rightarrow Xe^{129} + \beta$ . Esto no descarta la posibilidad en algunos casos de un exceso de protones, como ocurre con el  $Ni^{59}$ , que da lugar al  $Co^{59}$ , isótopo que también puede proceder del  $Fe^{59}$ .

Al observar la gráfica (fig. II-2), se aprecian en los isó-

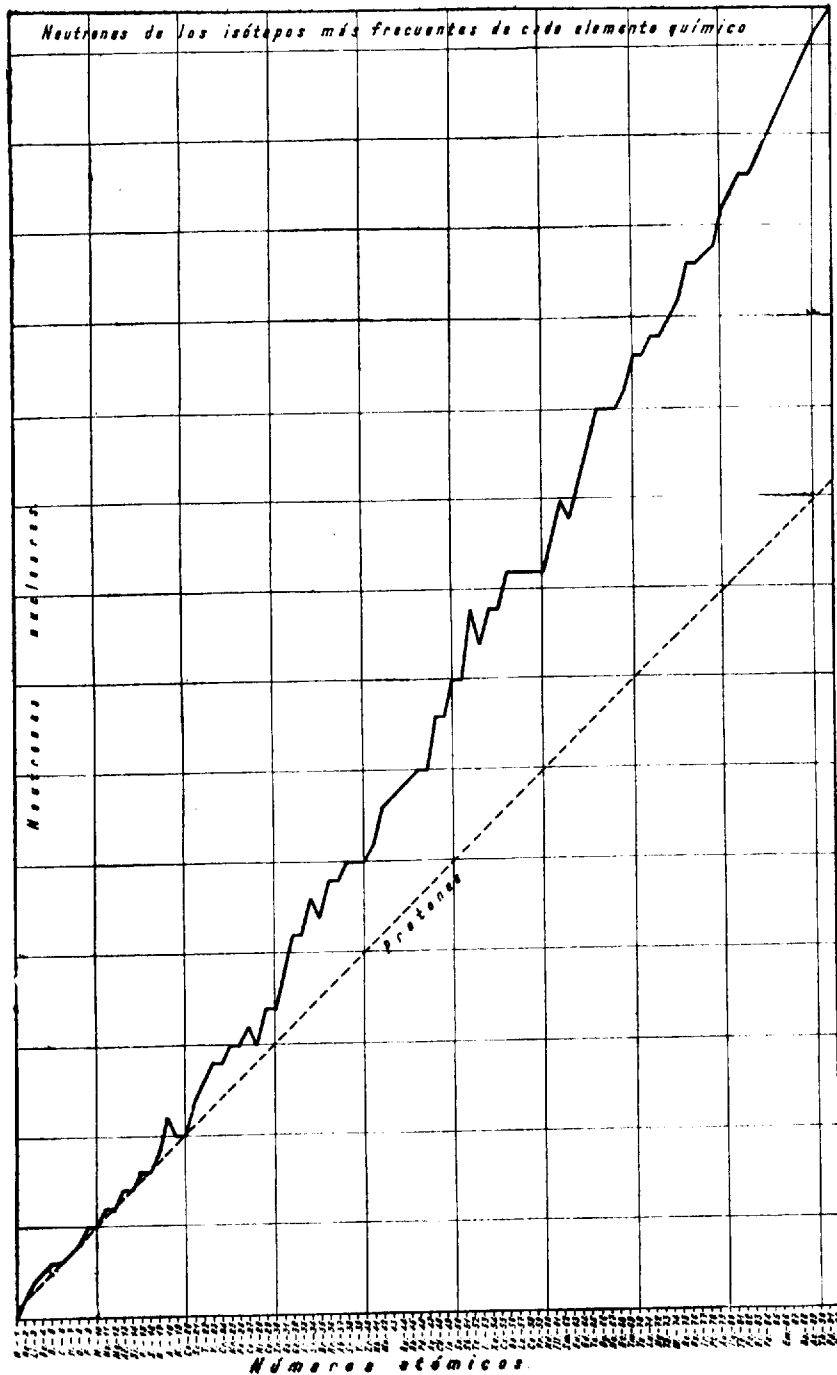


Fig. II-2.

topos más frecuentes de la pléyade de cada elemento químico, un aumento de la relación  $n/p$  conforme se avanza en la tabla periódica y, por consiguiente, la necesidad de aportación de neutrones para la obtención de elementos por síntesis.

Sobre la duración del proceso de la captura neutrónica hay diversidad de opiniones (10), desde los que consideran que son suficientes unos segundos, como Wataghin (174), hasta los que exigen una duración elevada.

Después de formados los núcleos atómicos tuvo lugar una expansión rápida de la materia, que dió lugar a los núcleos que se habían de transformar en las diferentes galaxias, coincidente en el momento en que los núcleos atómicos se rodearon de su cortejo electrónico, originando los diversos átomos. La transformación de los núcleos en átomos fué rápida y corresponde a lo que denominamos ordenación del caos nuclear. Este criterio es opuesto al sostenido por Hoyle (1937) de carecer el universo de principio y fin y de que estamos presenciando la creación continua de la materia.

Si se denominan elementos ligeros aquellos que corresponden hasta  $Z = 34$ , se puede apreciar en las tablas de distribución de elementos que los más abundantes son los ligeros, aunque con dispersiones grandes, y que esta abundancia disminuye al principio rápidamente, permaneciendo sensiblemente constante hasta los más pesados. Se observa, asimismo, una tendencia a que el número de neutrones de los núcleos sea par, la cual se acentúa para los elementos con  $Z$  impar.

La geoquímica aporta datos sumamente interesantes para fijar los contenidos de los diversos elementos, citando a Goldschmidt (50) como investigador destacado en este campo, y la interesante recopilación de Brown (23).

Son de gran importancia las aportaciones de Gamow (45 y 46) y Alpher (11), para fijar la composición elemental teórica del material cósmico, para lo que tuvieron que establecer determinadas condiciones, como la densidad actual de la materia (73)  $\rho_m'' \simeq 10^{-30}$  g/m.<sup>3</sup>, a la que corresponden, según los trabajos de Alpher, al formarse los elementos  $\rho_m' = 10^{-6}$  g/m.<sup>3</sup> y una temperatura comprendida por  $10^8$  —  $10^{10}$  K°, ya que uno de los límites corresponde a la desintegración y disociación normal del núcleo, y el otro, a la necesidad de la formación de los elementos por captura neutrónica. En esta composición teórica no están comprendidas las alteraciones indicadas ni la disminución de elementos ligeros debida a las alteraciones termonucleares que siguieron a la formación nuclear durante el proceso de expansión universal. Considera Alpher aceptables las sugerencias de Gamow de que la formación de la galaxia tuvo lugar cuando fueron iguales las densidades de materia y radiación, para lo que deduce una edad  $t_c = 0.86 \times 10^{18}$  seg. =  $2.5 \times 10^4$  m. a., que, según nuestros cálculos, es excesiva, por corresponder al momento de la formación de los primeros átomos. El valor de  $t_c$  cambia considerablemente con los factores que se pueden poner en juego, llegando en algunos de los casos que presenta Alpher a valores tan absurdos como  $6 \times 10^2$  años, al que corresponde  $\rho_r'' \simeq 10^{-35}$  g/m.<sup>3</sup>, lo que induce a interpretar que las condiciones de densidad elegidas son incompatibles con la teoría de captura neutrónica de la formación de los elementos.

Entre los varios trabajos de valoración de núcleos en el universo, se pueden mencionar los de Saraiva y Wataghin (151), que establecen una ley que permite deducir valores bastante concordantes con los experimentales. En la interesante aportación de Alpher, Bethe y Gamow (8)

parece consideran la formación de los elementos más que como resultado de un proceso de equilibrio entre temperatura y densidad, como un proceso detenido por una rápida expansión y enfriamiento de la materia primitiva, desempeñando un papel esencial la sección de captura neutrónica por el núcleo atómico, que decrece rápidamente para los elementos ligeros y permanece sensiblemente constante para los tan pesados como la plata.

Es necesario discutir, por lo mucho que se alejan de la realidad, las curvas calculadas y publicadas por los autores sobre la formación de elementos (8). Al considerar las masas ligeras se observa un franco defecto de la masa 38 en el supuesto de que hubiese existido el Cl<sup>38</sup> con período de 38.5 m., transformado hoy en el A<sup>38</sup>, y si inicialmente fué el K<sup>38</sup> con período de 7.65 m., dió lugar al mismo isótopo que está hoy en dicho gas a la proporción de 0.08 %, mientras que el A<sup>40</sup> está en la proporción de 99.57 %, existiendo además el K<sup>40</sup> y el Ca<sup>40</sup>, que representa el 96.92 % de todo el calcio actual.

En masas dobles se observa el mismo fenómeno al considerar la 82, que corresponde actualmente al selenio con una proporción de 9.19 % y al criptón con 11.50 %, mientras que la 83, que existió en el selenio, pasó al bromo y luego al criptón con la proporción de 8.99 %, con un considerable defecto de masa respecto a la 82.

Si nuevamente se aumentan las masas y consideramos de 140 a 150, de la primera el único representante es el cerio, con 88.49 % del total. La 142 está representada con el 11.07 % del cerio y el 26.08 de neodimio, mientras que de las 143, 145 y 147 los únicos representantes son el neodimio, con 11.12, 8.35 y 17.35 %, respectivamente.

Estos razonamientos conducen, según nuestra opinión, a que no se puede admitir una ley sencilla que representa

las cantidades existentes de cada masa nuclear. Es preciso que sea una expresión complicada que relacione componentes neutrónicos o protónicos, la cual daría la composición másica teórica en el momento de formarse los elementos, y a partir de ella se podría deducir la composición másica actual, estableciendo las posibles evoluciones.

### II-3. Denominación de los elementos y composición isotópica

**Denominación de los elementos.**—Se han señalado directrices terminológicas en las aplicaciones de la radiactividad para los problemas de edades, mereciendo especial mención las sugerencias de Keevil (81) y Nier (135); de acuerdo con éstas, hemos establecido en nuestro idioma las siguientes denominaciones para los plomos naturales, agrupados primero por el origen y propiedades radiactivas, y en segundo lugar por el momento de manifestarse (110).

Por el origen y propiedades radiactivas, se pueden clasificar los plomos en tres subgrupos: *a)* primarios u originarios, *b)* radiogénicos estables y *c)* radiogénicos radiactivos.

*a)* Se denomina *plomo primario u originario* el estable que no procede de fenómenos radiactivos; como en este grupo no hubo aportaciones ni desintegraciones, debe existir hoy en la misma cantidad que en el momento de producirse, en la serie de elementos químicos a partir de la materia inicial. Por su inalterabilidad, se consideran los plomos primarios como elementos de referencia para la

valoración de los demás plomos, del torio y del uranio, para este trabajo se ha elegido con este fin el Pb204. Se considera como unidad, unas veces su contenido en la corteza terrestre y otras el número de sus átomos que intervienen en las fórmulas, según convenga en cada momento.

El grupo de los plomos primarios está integrado por el Pb204 y el Pb203, éste en pequeñísimas cantidades según algunos autores; ambos son los dos plomos más ligeros, por no parecer esté comprobada la sugerencia de Piggot (145), de que existen todos los plomos comprendidos entre las masas 201 y 214, de éstos el 201 es artificial y los 202, 205 y 213 parece que todavía no se ha conseguido aislarlos. En la actualidad parece ser que, además, se admiten del Pb203 dos isómeros nucleares, uno con emisión de fotón y período 52 horas, y otro con emisión de positón y período 10.25 m., pero éstos no tienen influencia en la clasificación establecida ahora, por ser artificiales. En realidad, debe considerarse el Pb204 como único representante de este grupo.

*b)* A los plomos finales de las familias radiactivas se les denomina *radiogénicos estables*, por indicar esta denominación su formación y su característica de estabilidad. Los más abundantes son los correspondientes a las tres familias radiactivas largas, que son: el Pb<sup>206</sup> o radioplomo, de la familia de forma  $4n + 2$ ; el Pb<sup>207</sup> o actinioplomo, procedente de la  $4n + 3$ , y el Pb<sup>208</sup> o torio-plomo, elemento final de la  $4n$ . Además de estos plomos, podría considerarse también en este grupo el Pb<sup>205</sup>, contenido en la proporción de 0,03 %, según Aston (14), y como máximo 0.01 %, según Nier (10), procedente del U1 por las ramas del UZ, según Maurer (128\*), o de otros elementos radiactivos de mayor número másico, aunque, según los trabajos de Hagemann (56 y 57), la familia  $4n + 1$  debe consi-

derarse terminada en el Bi209 y no en el Pb<sup>205</sup>, que no figura en las tablas de Mattauch (128).

c) Se denominan plomos *radiogénicos radiactivos* los que ocupan puestos intermedios en las familias radiactivas naturales largas; tienen por masa de 209 a 214 inclusive y poseen radiactividad  $\beta$ . De la familia  $4n + 1$  existen el Pb209, valorado en el plomo común por Aston (14) y por Nier (134), en las proporciones 0.85 % y 0.0009 %, respectivamente. La familia  $4n + 2$  tiene dos plomos de este grupo: el radio D o Pb210 y el B o Pb214. La familia  $4n + 3$  sólo tiene un plomo radiogénico radiactivo al actinio B o Pb211. La familia  $4n$ , al igual que la anterior, cuenta con un plomo de este grupo, el torio B o Pb212. De la familia del neptunio ( $4n + 1$ ) sólo se ha reconocido un plomo que es de este grupo, el Pb209, con período de tres horas, con lo que dejan una laguna correspondiente al Pb213.

Por el momento en que se manifiestan los plomos naturales, se encajan perfectamente en cinco subgrupos: a) primarios u originarios; b) aborígenes; c) comunes; d) actuales, y e) radiogénicos.

a) La primera denominación de plomos *primarios u originarios*, tiene igual alcance que en el grupo anterior, en la actualidad no se encuentra en la naturaleza representación alguna pura aislada de ellos, por estar contaminados con otros plomos de aportaciones radiogénicas procedentes de la desintegración de elementos predecesores que coexistieron con los plomos primarios. Para su independencia es necesaria una separación isotópica.

b) Los plomos *aborígenes* se individualizaron al formarse el sial de los continentes; son los primeros que existieron en la corteza de nuestro planeta; a ellos se han añadido nuevas cantidades por aportaciones radiogénicas. De estos plomos no existe en la actualidad representación

alguna; su composición se tiene que deducir conforme se indica en el subcapítulo correspondiente (V-3). Los plomos aborígenes, con la aportación sucesiva de plomo radiogénico antes indicada, dieron lugar a sus descendientes los comunes.

c) Los plomos *comunes u ordinarios*, se encuentran entre otros ámbitos en los minerales de plomo, formados en general por la concentración que tuvo lugar al producirse la mena a partir del plomo disperso en las rocas de la corteza terrestre. Por haber carecido el mineral puro de elementos radiactivos, salvo los plomos radiactivos, que pudieron estar en pequeña proporción, con una vida media muy corta, se puede considerar que todo el plomo fué generado antes de producirse la mena y su composición isotópica es función del momento en que tuvo lugar la concentración. En algunos de los plomos comunes se observan anomalías en la composición, que son fáciles de reconocer. En unos casos son debidas las anomalías a impurificaciones posteriores por otros plomos; otras veces, como en algunos de origen marino, se observa un enriquecimiento en Pb<sup>207</sup>, quizá debida a una acción selectiva de algunos seres marinos sobre este plomo estable o sus elementos predecesores. Como ejemplo de este caso se puede citar la muestra 23, mencionada en el capítulo V-2, con 16.21 para la relación Pb<sup>207</sup>/Pb<sup>204</sup>. La composición isotópica de los plomos comunes se determina directamente con el espectrógrafo de masas.

d) El plomo *actual* tiene la composición de un plomo que hoy se individualizase; como es difícil conseguir minerales que se produzcan hoy, según el proceso indicado para los comunes, se pueden admitir como tales los plomos que tengan una edad de pocos millones de años, por ser la diferencia de su composición análoga al orden de los



errores de las técnicas de valorización, según se verá en el subcapítulo V-3.

e) Los plomos *radiogénicos* son producidos en los minerales radiactivos que contienen elementos de cualquiera de las cabezas de las familias radiactivas largas; su composición isotópica, determinable con el espectrógrafo de masas, es función del momento en que se formó el mineral. Estos plomos sólo pueden estar integrados por los radiogénicos correspondientes a las familias largas coexistentes. En caso de contaminaciones que no sean por plomos radiogénicos, característico de los plomos comunes, tendrán el  $Pb^{204}$ , que sirve para descubrirlas, así como todos los demás plomos que le acompañan  $Pb^{206}$ ,  $Pb^{207}$  y  $Pb^{208}$ . Con la valoración isotópica de los plomos del ejemplar estudiado, y las químicas del uranio o torio, o de ambos si coexisten, se puede deducir cuantitativamente en todos los casos la contaminación sufrida. Al efectuar la corrección por contaminación se ha de tener en cuenta el momento en que se produjo, por deberse efectuar de acuerdo con la composición isotópica  $Pb^{204}$ ,  $Pb^{206}$ ,  $Pb^{207}$  y  $Pb^{208}$  del plomo que impurifica.

Estas orientaciones, ampliación de las dadas anteriormente (II0), pueden extenderse a los elementos finales de otras familias radiactivas. Esta extensión de criterio se hace para la pléyade de elementos más ligera, que es la correspondiente al calcio. De acuerdo con el origen y propiedades radiactivas, se denominará calcio primero u originario el primitivo, que pudo estar formado por los de masa 39 y 41 a 49. El único representativo del calcio en el grupo de los radiogénicos estables es el  $Ca^{40}$ , y carece de representación el denominado radiogénico-radiactivo, por no existir ningún calcio radiactivo. Por el momento de manifestarse el calcio, el primitivo u originario estuvo forma-

do por todo el calcio que existe ahora, menos el de masa 40. El calcio aborigen es el anterior incrementado en el  $Ca^{40}$ , producido hasta que se formó el sial de los continentes. El calcio común, u ordinario, es el que existe en las calizas que se ven en las excursiones geológicas, museos, edificios, etc., que tiene una proporción en  $Ca^{40}$  que oscila entre las correspondientes a los calcios aborigen y actual. El calcio actual corresponde a la composición isotópica del que hoy se individualizase. El calcio radiogénico es únicamente el  $Ca^{40}$ .

Como se ve, el único elemento de la pléyade que altera la denominación y clasificación de los diversos calcios, es el  $Ca^{40}$ , así como la cantidad de éste.

**Composición isotópica de los elementos.**— La composición isotópica de cada elemento es función del tiempo y, dentro de éste, de múltiples circunstancias geofísicas y geológicas.

La mera función del tiempo está bien clara en los elementos que tienen isótopos radiactivos o radiogénicos, siempre que sean principio o fin de familia; la proporción del isótopo radiactivo disminuye con el tiempo, mientras que la del radiogénico aumenta.

La influencia de los segundos fenómenos, como los geológicos, se pone de manifiesto de la siguiente manera: si existe una muestra que contenga Rb y Sr, la relación Rb/Sr disminuye con la edad de la muestra, debido a que el Rb va generando  $Sr^{87}$ , cuanto más tiempo que hace del aislamiento, entre el rubidio y el estroncio la relación  $Sr^{87}/Sr^{86}$  es menor y sirve por ello como índice de edad.

Se podría sugerir que, al formarse los elementos, la composición isotópica de algunos de ellos, en apariencia inmutable, no era la actual. Consideraremos el sodio; el

único isótopo estable actual es el  $\text{Na}^{23}$ , pero éste puede proceder del  $\text{Ne}^{23}$  por emisión  $\beta^-$  o del  $\text{Mg}^{23}$  por emisión  $\beta^+$ , así que pudo suceder que, por entonces, el isótopo dominante fuese  $\text{Na}^{22}$ , con un exceso neutrónico que, por emisión  $+\beta$  se transformó en el  $\text{Ne}^{22}$  hoy existente y pequeñas proporciones del  $\text{Na}^{23}$ , así como  $\text{Na}^{24}$  y  $\text{Na}^{25}$ , que dieron lugar, por desintegración, al  $\text{Mg}^{24}$  y  $\text{Mg}^{25}$ .

Hay otros elementos que tienen isótopos radiactivos en cantidades importantes y que, por lo tanto, su composición ha variado constante y regularmente; se puede citar el potasio, con una disminución constante del  $\text{K}^{40}$ , y otros, por el contrario, tienen elementos radiogénicos estables de formación actual, como el calcio, con un aumento continuo de la proporción en  $\text{Ca}^{40}$ .

*Variación con el tiempo, de la composición isotópica del potasio*

Isótopo	Hoy	2.000 m. a.	3.850 m. a.	4.600 m. a.
39	93.260	93.245	93.223	93.188
40	0.011	0.027	0.050	0.088
41	6.729	6.728	9.727	6.724

Como el único elemento supuesto originario en la pléyade del torio es el 232, se puede considerar prácticamente en la proporción del 100 por 100, ya que los otros isótopos, por su gran probabilidad de transformación, están en proporciones insignificantes.

En el uranio existe la particularidad de que los dos isótopos admitidos como originarios son cabeza de familia radiactiva; por la continua desintegración de ambos existe

una variación ininterrumpida en la composición isotópica, así como en las cantidades de cada uno de ellos.

Por último, existen los elementos finales de familia radiactiva, en los que la composición isotópica, además de ser función del tiempo, está influida por las circunstancias geológicas y físicas. Un ejemplo muy claro es el plomo; la composición isotópica teórica en los momentos citados en el cuadro adjunto para la materia total y de la que formó la corteza, es diferente de la que se formara en cada momento; por esa razón, en las tablas internacionales de isótopos, se da como composición isotópica la de un plomo precambriano.

*Variación con el tiempo, de la composición isotópica del plomo*

	Isótopo	Hoy	3.850 m. a.	4.600 m. a.
Total	204	0.6	1.7	100
	206	20.6	19.4	0
	207	12.3	23.8	0
	208	66.5	54.1	0
Corteza	204	1.3	1.7	100
	206	25.3	19.4	0
	207	21.2	23.8	0
	208	52.2	55.1	0

En el caso de que en la pléyade de un elemento, un isótopo sea radiogénico y no esté aislado de sus predecesores

res, se observa un continuo y uniforme aumento de la proporción de éste y una disminución de los demás.

La actual composición isotópica puede servir para aclarar la duda sobre la posible existencia de determinadas familias, como por ejemplo, la  $\text{Sn} \rightarrow \text{In}$  con período de  $5 \times 10^{12}$  a.; algunos geofísicos fundan la hipótesis de su existencia en el reconocimiento de In en los minerales de estaño. El estaño considerado como radiactivo es el 115, contenido en la pléyade en la proporción de 0.4 por 100; por lo tanto, si se considerase un gramo de estaño, éste puede dar lugar en un mineral de  $2 \times 10^9$  a., o sea, en los más antiguos que se pueden admitir, a la producción de 0.000028 gramos de In, que está en relación de 1 a  $0.28 \times 10^{-4}$  con el Sn, y lo colocan en los límites de sensibilidad espectroquímica. En los minerales con estaño el indio suele estar en mayores proporciones, como lo hemos comprobado en 934 muestras de minerales de plomo antiguos estudiados en 1942 para aclarar esta coexistencia (99), sus análisis espectroquímicos pusieron en evidencia la existencia de In en 163, todas ellas conteniendo estaño. Como la relación entre ambos elementos oscilaba en estos minerales de 1 en 10 a 1 en 100, se destaca la imposibilidad de que se trate de indio radiogénico. En un trabajo reciente de Martell y Libby (127), se demuestra que el  $\text{In}^{115}$  contenido en la proporción de 95.77 % en el indio actual, es radiactivo con emisión beta, una energía de  $0.63 \pm 0.03$  Mev y un período de  $(6 \pm 2) \times 10^{14}$  a., en este caso el elemento final es el  $\text{Sn}^{115}$ , con proporción de 0.33 % en el estaño. Sobre esta desintegración podemos sostener la misma opinión y es que las 163 muestras del trabajo (99) que tenían indio, daban estaño. Las cantidades de este elemento en casi todos los ejemplares son superiores que las de indio, y en 207 se encontró estaño

abundante y no se pudo identificar el indio, descartando el origen radiogénico del estaño en los minerales aludidos. Los resultados de estos análisis no se oponen a que el  $\text{Sn}^{115}$  o en el  $\text{In}^{115}$  puedan ser radiactivos, pero sí al razonamiento que dan a favor de esta propiedad.

Consideraciones parecidas se podrían hacer del  $\text{Cd}^{113} \rightarrow \text{In}^{113}$  y del  $\text{Sb}^{123} \rightarrow \text{Te}^{123}$ ; no obstante, son sumamente interesantes todos los estudios encaminados al descubrimiento de familias radiactivas con período del orden de  $10^{14}$  a  $10^{16}$  a., por la luz que pueden dar acerca de la génesis de los elementos. Existe otra causa que influye en la composición isotópica; ésta es la radiación cósmica; sus neutrones pueden dar lugar a reacciones nucleares, se cita, como ejemplo, la acción sobre el carbono según la reacción  $\text{C}^{12} (n, \gamma) \text{C}^{14}$ . Este  $\text{C}^{14}$ , con un período de 6.400 años, se transforma en el isótopo más frecuente del nitrógeno  $\text{N}^{14}$  en la proporción 99.62 por 100. Como los neutrones de la radiación cósmica se pueden frenar por una capa de tierra o de agua, este cambio de composición sólo tiene lugar en el carbono superficial, y permite diferenciar si el metano procede de seres vivientes, como es el de las alcantarillas, o si procede de fósiles, como el del petróleo.

#### II-4. Las familias radiactivas naturales

Los elementos inestables se pueden agrupar en naturales y artificiales, dentro de cada uno se organizan en familias, y así existen entre las naturales conocidas las doce series denominadas: del uranio  $\text{U} \rightarrow \text{RaG} + 8\alpha + 6\beta$ ,  $(4n + 2)$ , esta representación se refiere a que el número másico de los elementos es  $4n + 2$ , del actinio  $\text{AcU} \rightarrow$

AcD + 7 $\alpha$  + 4 $\beta$ , (4n + 3) del torio Th<sup>232</sup> → ThD + 6 $\alpha$  + 4 $\beta$ , (4n), Re<sup>187</sup> → Os<sup>187</sup> +  $\beta$ , Lu<sup>176</sup> → Hf<sup>176</sup> +  $\beta$ , Sm<sup>147</sup> → Nd<sup>143</sup> +  $\alpha$ , La<sup>138</sup> → Ce<sup>138</sup> +  $\beta$ , La<sup>138</sup> → B<sup>138</sup> + K, In<sup>115</sup> → Sn<sup>115</sup> +  $\beta$ , Rb<sup>87</sup> → Sr<sup>87</sup> +  $\beta$ , K<sup>10</sup> → Ca<sup>10</sup> +  $\beta$  y K<sup>10</sup> → A<sup>10</sup> + K. En estas familias se agrupan más de 50 configuraciones nucleares diferentes con radiactividad natural representadas en las figs. II-3 a II-14. Para el geofísico no hay inconveniente en aceptar que, en tiempos pretéritos, existieron más elementos radiactivos naturales, hoy prácticamente desaparecidos por la pequeñez de su período. De los neptunios conocidos de masa 231 a 239, salvo el 237, que tiene por período  $2.25 \times 10^6$  años, para los demás oscila de minutos a días; entre los plutonios de masas 232 a 241 hay dos que tienen períodos del orden de miles de años, que son los 239 y 240; de los cinco americios el de mayor período es el 241, con 500 años, y de los tres curios el 242 tiene 150 días. Los dos elementos descubiertos últimamente, Bk<sup>248</sup> y Cf<sup>244</sup>, parece ser evolucionaria, el primero, por captura de electrón con período de 4,6 h. y, el segundo, con emisión alfa y período 45 m. Quizá se encontrasen entre los que existieron los elementos neptunio (<sub>93</sub>Np), plutonio (<sub>94</sub>Pu), américo (<sub>95</sub>Am), curio (<sub>96</sub>Cm), berkelio (<sub>97</sub>Bk), y californio (<sub>98</sub>Cf), e incluso no sería arriesgado admitir con Hagemann (57) la coexistencia con ellos de la familia del neptunio Np<sup>237</sup> → Bi<sup>209</sup> + 7 $\alpha$  + 4 $\beta$ , (4n + 1), hoy totalmente extinguida, y su representante es el único bismuto considerado estable, precisamente el que forma parte con el 100 por 100 de las menas bismutíferas.

Al estudiar esta familia, se ve que la cabeza aparente es el Np<sup>237</sup>, pero la real lo es el PU<sup>241</sup>, debido a que su período, aunque largo, es considerablemente menor que el del Np<sup>237</sup>, y el de su derivado Am<sup>241</sup> sólo es de 500 a. Esto induce a pensar que las tres familias largas conoci-

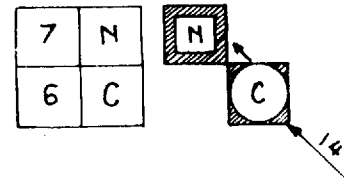


Fig. II-3. Familia del U<sup>14</sup>

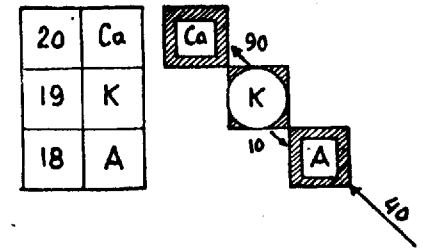


Fig. II-4. Familia del K<sup>40</sup>

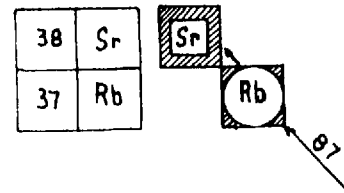


Fig. II-5. Familia del Rb<sup>87</sup>

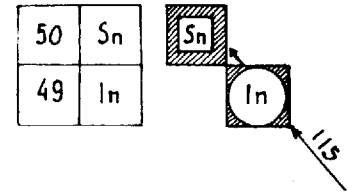


Fig. II-6. Familia del In<sup>115</sup>

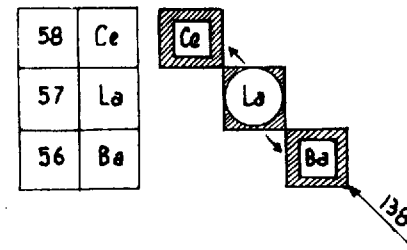


Fig. II-7. Familia del La<sup>138</sup>

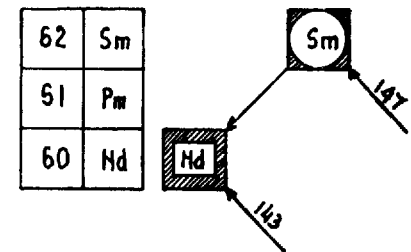


Fig. II-8. Familia del Sm<sup>147</sup>

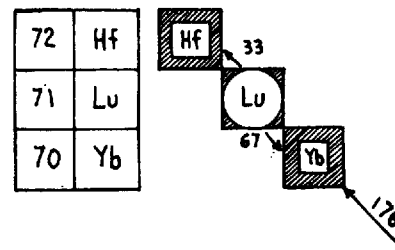


Fig. II-9. Familia del Lu<sup>176</sup>

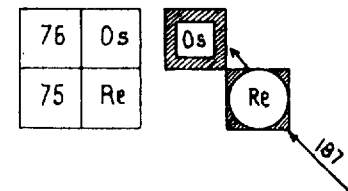


Fig. II-10. Familia del Re<sup>187</sup>

98	Cf
97	Bk
96	Cm
95	Am
94	Pu
93	Np
92	U
91	Pa
90	Th
89	Ac
88	Ra
87	Fr
86	Em
85	At
84	Po
83	Bi
82	Pb
81	Tl

FAMILIA DE ATOMOS RADIATIVOS  $4n$  O DEL TORIO

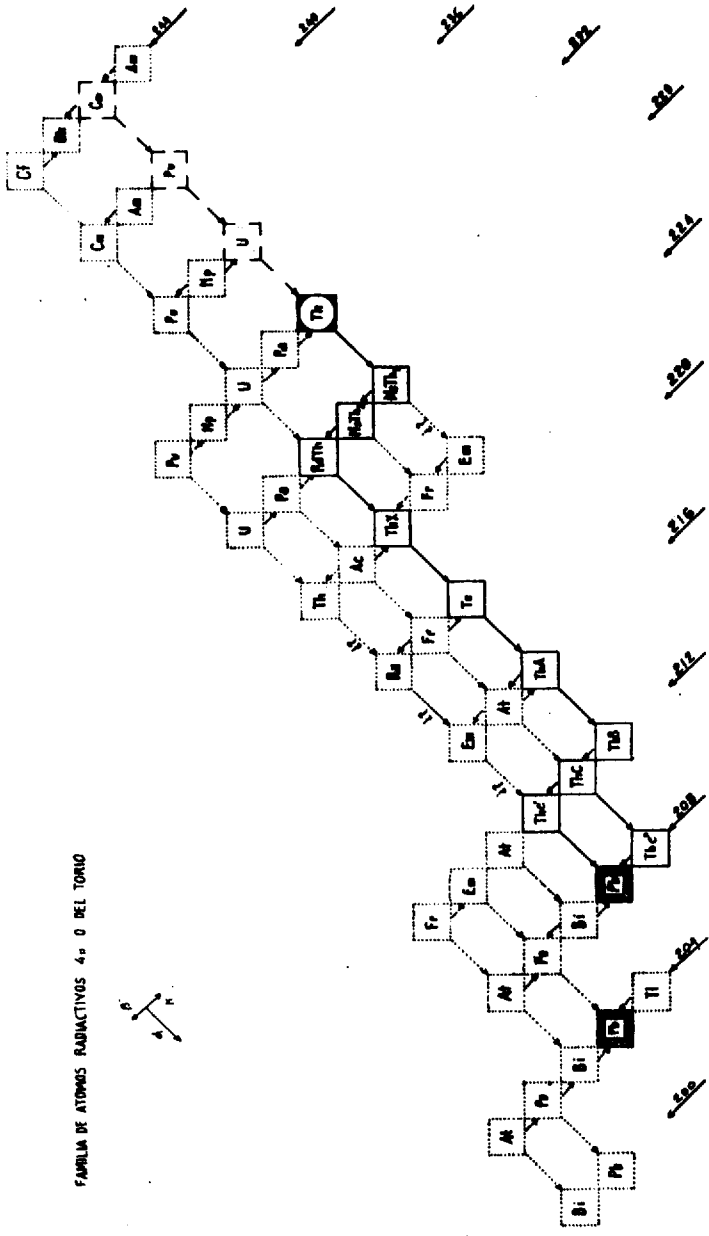


Fig. II-11.

98	Cf
97	Bk
96	Cm
95	Am
94	Pu
93	Np
92	U
91	Pa
90	Th
89	Ac
88	Ra
87	Fr
86	Em
85	At
84	Po
83	Bi
82	Pb
81	Tl

FAMILIA DE ATOMOS RADIATIVOS  $4n+1$  O DEL NEPTUNIO

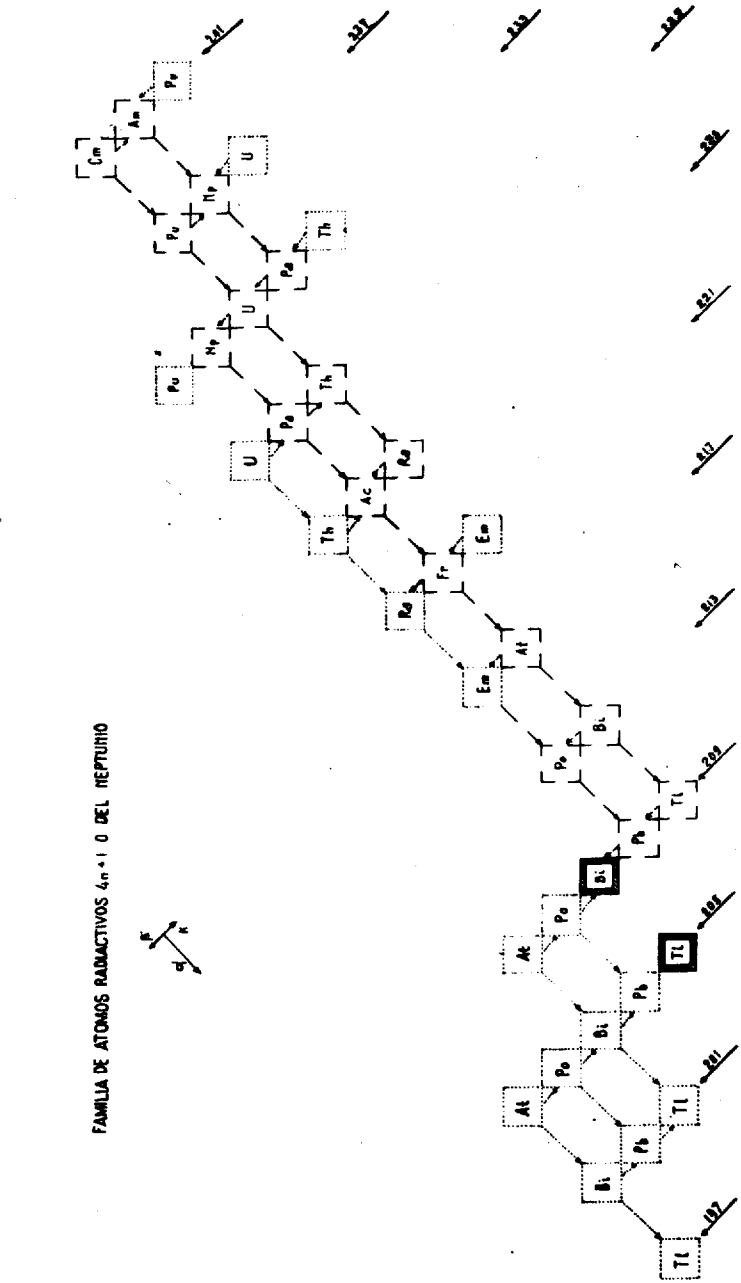


Fig. II-12.

86	Cf
87	Bk
88	Cm
89	Am
90	Pu
91	Np
92	U
93	Th
94	Pa
95	U
96	Th
97	Pa
98	U
99	Th
100	Pa
101	U
102	Th
103	Pa
104	U
105	Th
106	Pa
107	U
108	Th
109	Pa
110	U
111	Th
112	Pa
113	U
114	Th
115	Pa
116	U
117	Th
118	Pa
119	U
120	Th
121	Pa
122	U
123	Th
124	Pa
125	U
126	Th
127	Pa
128	U
129	Th
130	Pa
131	U
132	Th
133	Pa
134	U
135	Th
136	Pa
137	U
138	Th
139	Pa
140	U
141	Th
142	Pa
143	U
144	Th
145	Pa
146	U
147	Th
148	Pa
149	U
150	Th
151	Pa
152	U
153	Th
154	Pa
155	U
156	Th
157	Pa
158	U
159	Th
160	Pa
161	U
162	Th
163	Pa
164	U
165	Th
166	Pa
167	U
168	Th
169	Pa
170	U
171	Th
172	Pa
173	U
174	Th
175	Pa
176	U
177	Th
178	Pa
179	U
180	Th
181	Pa
182	U
183	Th
184	Pa
185	U
186	Th
187	Pa
188	U
189	Th
190	Pa
191	U
192	Th
193	Pa
194	U
195	Th
196	Pa
197	U
198	Th
199	Pa
200	U
201	Th
202	Pa
203	U
204	Th
205	Pa
206	U
207	Th
208	Pa
209	U
210	Th
211	Pa
212	U
213	Th
214	Pa
215	U
216	Th
217	Pa
218	U
219	Th
220	Pa
221	U
222	Th
223	Pa
224	U
225	Th
226	Pa
227	U
228	Th
229	Pa
230	U
231	Th
232	Pa
233	U
234	Th
235	Pa
236	U
237	Th
238	Pa
239	U
240	Th
241	Pa
242	U
243	Th
244	Pa
245	U
246	Th
247	Pa
248	U
249	Th
250	Pa
251	U
252	Th
253	Pa
254	U
255	Th
256	Pa
257	U
258	Th
259	Pa
260	U
261	Th
262	Pa
263	U
264	Th
265	Pa
266	U
267	Th
268	Pa
269	U
270	Th
271	Pa
272	U
273	Th
274	Pa
275	U
276	Th
277	Pa
278	U
279	Th
280	Pa
281	U
282	Th
283	Pa
284	U
285	Th
286	Pa
287	U
288	Th
289	Pa
290	U
291	Th
292	Pa
293	U
294	Th
295	Pa
296	U
297	Th
298	Pa
299	U
300	Th

FAMILIA DE ATOMOS RADIACTIVOS 4n+2 O DEL RADIO

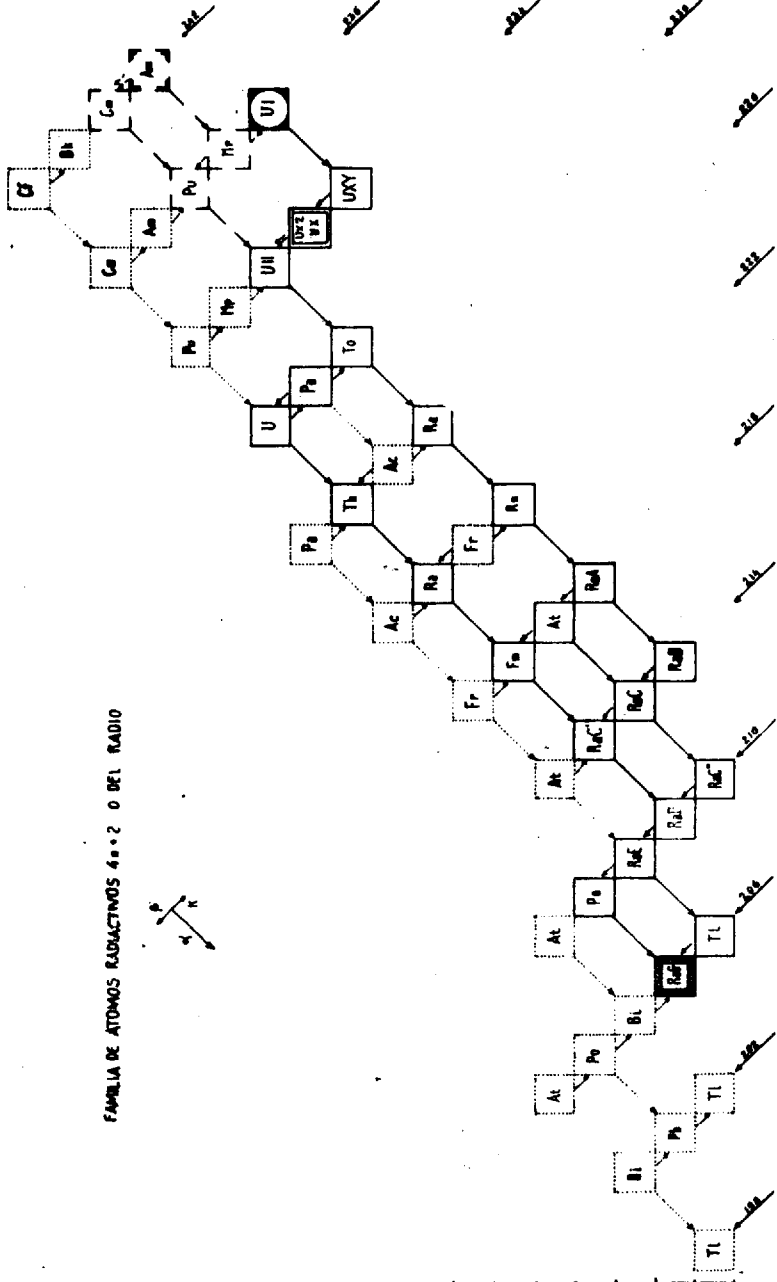


Fig. II-13.

86	Cf
87	Bk
88	Cm
89	Am
90	Pu
91	Np
92	U
93	Th
94	Pa
95	U
96	Th
97	Pa
98	U
99	Th
100	Pa
101	U
102	Th
103	Pa
104	U
105	Th
106	Pa
107	U
108	Th
109	Pa
110	U
111	Th
112	Pa
113	U
114	Th
115	Pa
116	U
117	Th
118	Pa
119	U
120	Th
121	Pa
122	U
123	Th
124	Pa
125	U
126	Th
127	Pa
128	U
129	Th
130	Pa
131	U
132	Th
133	Pa
134	U
135	Th
136	Pa
137	U
138	Th
139	Pa
140	U
141	Th
142	Pa
143	U
144	Th
145	Pa
146	U
147	Th
148	Pa
149	U
150	Th
151	Pa
152	U
153	Th
154	Pa
155	U
156	Th
157	Pa
158	U
159	Th
160	Pa
161	U
162	Th
163	Pa
164	U
165	Th
166	Pa
167	U
168	Th
169	Pa
170	U
171	Th
172	Pa
173	U
174	Th
175	Pa
176	U
177	Th
178	Pa
179	U
180	Th
181	Pa
182	U
183	Th
184	Pa
185	U
186	Th
187	Pa
188	U
189	Th
190	Pa
191	U
192	Th
193	Pa
194	U
195	Th
196	Pa
197	U
198	Th
199	Pa
200	U
201	Th
202	Pa
203	U
204	Th
205	Pa
206	U
207	Th
208	Pa
209	U
210	Th
211	Pa
212	U
213	Th
214	Pa
215	U
216	Th
217	Pa
218	U
219	Th
220	Pa
221	U
222	Th
223	Pa
224	U
225	Th
226	Pa
227	U
228	Th
229	Pa
230	U
231	Th
232	Pa
233	U
234	Th
235	Pa
236	U
237	Th
238	Pa
239	U
240	Th
241	Pa
242	U
243	Th
244	Pa
245	U
246	Th
247	Pa
248	U
249	Th
250	Pa
251	U
252	Th
253	Pa
254	U
255	Th
256	Pa
257	U
258	Th
259	Pa
260	U
261	Th
262	Pa
263	U
264	Th
265	Pa
266	U
267	Th
268	Pa
269	U
270	Th
271	Pa
272	U
273	Th
274	Pa
275	U
276	Th
277	Pa
278	U
279	Th
280	Pa
281	U
282	Th
283	Pa
284	U
285	Th
286	Pa
287	U
288	Th
289	Pa
290	U
291	Th
292	Pa
293	U
294	Th
295	Pa
296	U
297	Th
298	Pa
299	U
300	Th

F. DE ATOMOS RADIACTIVOS 4n+3 O DEL ACTINOURANIO

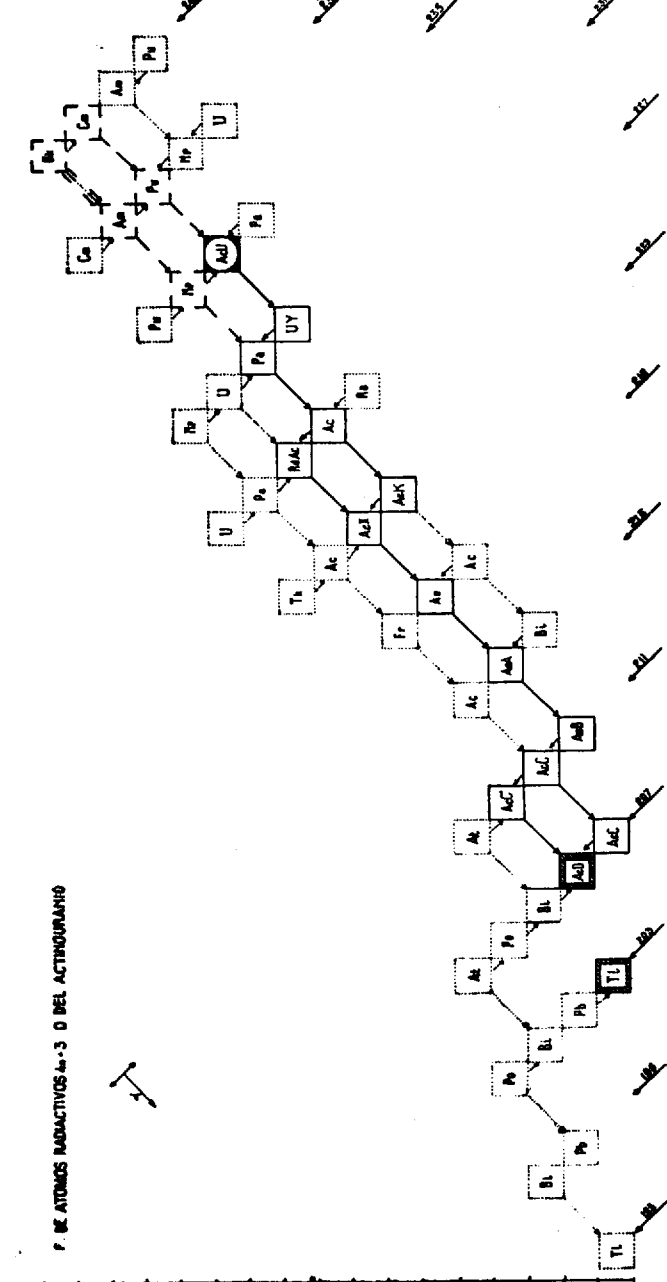


Fig. II-14.

das pueden haber tenido como verdadera cabeza algún elemento transuránico, que ha desaparecido prácticamente, debido a su corto período y aparecen hoy como cabezas aparentes de estas familias el  $\text{Th}^{232}$ ,  $\text{U}^{235}$  y  $\text{U}^{238}$ . Podría suceder que en la naturaleza la familia del actinio tuviese, como origen, el  $\text{Pu}^{239}$ , con un período de 24 a. y quién sabe si en el proceso de síntesis este elemento pudiese proceder el neptunio 239 con un período de 23 d.

Desechada la idea de poder evidenciar, con los métodos actuales, la existencia de transuranios naturales originarios en las formaciones minerales, es preciso aclarar que tampoco se puede encontrar el  $\text{Bi}^{209}$ , como resultado de la desintegración natural de elementos originarios de la familia  $(4n + 1)$ , en contra de lo sostenido por algunos autores (148\*), de que el  $\text{Bi}^{209}$  de los minerales radiactivos puede proceder de esta serie. No se puede admitir esta sugerencia porque el período del  $\text{Np}^{237}$  de  $2.3 \times 10^6$  a. es insignificante, frente a los miles de millones de años transcurridos desde la formación natural originaria de los átomos transuránicos de esta familia, hasta que se formaron los minerales.

Surge una duda, que es la procedencia de los transuránicos, reconocidos, al parecer, en los minerales de uranio, tema en el que trabaja Seabor desde 1942, tanto en las pezblendas como en las carnotitas; en ambos los encuentra en la proporción de  $10^{-14}$ . Después de lo expuesto, hay que suponer procedan de la reacción  $(n, \gamma)$  con  $\text{U}^{238}$  que da  $\text{U}^{239}$  con un período de 23 m., por emisión  $\beta$  pasa a neptunio con 23 d. y éste a  $\text{Pu}^{239}$  con 50 a. y emisión alfa (47, 153, 154, 155). Para que se produzca el proceso indicado, es preciso la existencia de un neutrón, que puede proceder de la excisión espontánea del uranio o de la reacción

$(\alpha, n)$  sobre núcleos ligeros que existen en las pezblendas, como son los de Li, B, Be, F, O, etc.

De los elementos naturales, que hoy no existen pero que tuvieron existencia real, se conocen perfectamente tanto su comportamiento químico como las propiedades físicas.

Las 12 figuras adjuntas representan las once familias mencionadas, así como la  $(4n-1)$  por la probabilidad que tiene de haber existido. La representación se efectúa tomando en abscisas el número atómico  $Z$  y por ordenadas el de neutrones del núcleo en exceso del de protones  $N = A - 2Z$ . Para seguir las desintegraciones, se tiene la alfa hacia la izquierda, la  $\beta^-$  como diagonal del cuadrilátero de lados superior e izquierdo y las  $\beta^+$  y  $K$  como diagonal de los lados inferior y derecho.

En tres de las familias largas,  $4n$ ,  $4n-2$  y  $4n-3$ , se observa el paso por el gas emanación, de número atómico 86 y paso nuevamente a sólido, que da lugar al depósito activo, perjudicial en muchos casos en las cámaras de ionización y otros aparatos de medida. Por nuevas desintegraciones llegan estas familias al  $\text{Pb}^{208}$ ,  $\text{Pb}^{206}$  y  $\text{Pb}^{207}$ , como producto final, mientras que la familia  $4n + 1$  tiene como dudoso el elemento 86 y como final estable el  $\text{Bi}^{209}$ .

Esperamos que, además de estas familias radiactivas naturales, se pongan en evidencia otras de período más elevado, que deben existir, pero que con los actuales medios de observación no se han identificado. Creemos no tardarán mucho en descubrirse si continúan, como es de esperar, los perfeccionamientos en la preparación de emulsiones fotográficas para fines nucleares y en la construcción de los tubos denominados de Geiger.

## II-5. Minerales radiactivos

Se deben considerar como minerales radiactivos todos los que contengan alguno de los elementos cabeza de familia radiactiva; o sea, los de potasio, rubidio, indio, lantano, samario, lutecio, renio, torio y uranio, aunque en nuestra legislación actual se consideren únicamente el torio y el uranio. En algunos de ellos, las consecuencias de la radiactividad son considerables, y he podido comprobar personalmente en la cuenca catalana la importancia de la radiactividad del potasio en la disminución del grado geotérmico y necesidad de métodos especiales de laboreo y ventilación (90), para favorecer la salubridad y rendimiento del minero.

### Relación de los minerales de uranio y torio.—

Por la importancia que se da en estos momentos a las menas de uranio y torio, se dan por orden alfabético los nombres y datos de los minerales de estos dos elementos, aunque no formen parte como constituyentes principales.

*Adelfolita* = fergusonita.

*Aeschinita* = eschinita.

*Allanita*:  $(Ca, Ce, Th)_2 (Al, Fe, Mg)_3 Si_2O_{12} (OH)$ ; U = 0.017 %; Th < 3.2 %.

*Alvita* = circonio.

*Ampangabita*:  $(Y, Er, U, Ca, Th)_2 (Nb, Ta, Fe, Ti)_7 O_{18}?$

*Andersonita*:  $Na_2 Ca (UO_2)(CO_3)_3 \cdot 6 H_2O$ ; U = 39.15 %.

*Anglesobarita* = hocutolita.

*Annerodita* = samarsquita.

*Antracolita*: Es un hidrocarburo níquelífero y uranífero; U = 0.0029 %.

*Arrenita* = fergusonita.

*Asfaltita* = antracolita.

*Auerlita* = torita.

*Autunita*:  $Ca (UO_2)_2 (PO_4)_2 \cdot 8-12 H_2O$ ; U = 49.7 a 56.2 %.

*Azorita* = pirocloro.

*Baileyita*:  $Mg_2 (UO_2) (CO_3)_3 \cdot 18 H_2O$ ; U = 27.8 al 29.2 %.

*Basetita*:  $Fe (UO_2)_2 (PO_4)_2 \cdot 8 H_2O$ ; U = 51 %.

*Bastnaesita* (Ce, La)  $FCO_3$  U y Th solamente 1 %.

*Becquerelita*:  $2 UO_3 \cdot 3 H_2O?$ ; U = 27.8 al 29.2 %.

*Betafitita*:  $(U, Ca) (Cb, Ta, Ti_3O_9 \cdot nH_2O?)$ ; U = 16.3 al 24.5 %.

*Billietita* = becquerelita.

*Blomstrandina* = priorita.

*Blomstrandinita* = blomstrandina.

*Blomstrandita* = betafita.

*Bragita* = fergusonita.

*Brannerita*:  $(U, Ca, Fe, Y, Th)_3 Ti_5O_{16}?$ ; U = 39.3 %; Th = 3.6 %.

*Brogerita* = uraninita.

*Broggita* = antracolita.

*Calciocarnotita* = tiuyamunita.

*Calciosamarsquita*:  $(Ca, Y, etc., U, Th)_8 (Nb, Ta, Fe, Ti, Sn)_5 O_{15} (Ca, Y, etc., U, Th, Zr)_3 (Nb, Ta, Fe, Ti)_5 O_{16}$ ; U = 9.4 al 11.3 %; Th = 1.9 al 2.9 %.

*Calciotantalita* = microlita.

*Calciorita* = torita.

*Calciovolbortita* = volbortita.

*Calcouranita* = autunita.

*Caliptolita* = circonio.

*Capelanita*:  $(Ba, Y)_2 SiBO_6$ ; Th = 0.46 %.



- Carburan* = antracolita.  
*Cariocerita* = melanocerita.  
*Carnotita*:  $K(UO_2)(VO_3) \cdot 12-11\frac{1}{2}H_2O$ ; U = 56.3 al 58.4 %.  
*Cerita* =  $Ce_2SiO_5$ ; U = 0.4 %; Th 0.3 %.  
*Ceunerita*:  $Cu(UO_2)_2(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$ ; U = 50.4 %.  
*Chalcolamprita* = pirocloro.  
*Chalcolita* = torbernita.  
*Chevquinita* = tscheffkinita.  
*Chinglusa* = Silicato complejo de Na, Mn, Ca y Ti; Th = 0.05 %.  
*Chincolovita* = sklodowsquita.  
*Cipeita*:  $2UO_3 \cdot SO_3 \cdot 5-6H_2O$ ; U = 64.9 al 67.4 %.  
*Circonio*: =  $ZrSiO_4$ ; U y Th muy bajo en la mayoría de las muestras.  
*Cleveita*: U  $\leq$  2.7 %, Th  $\leq$  13.1 %.  
*Cirkelita*:  $(Ca, Fe, Th, U)_2(Ti, Zr)_2O_8$ ?; U = 1.4 %; Th = 6.4 %.  
*Cirtolita* = circonio.  
*Clarkeita*:  $UO_3 \cdot nH_2O$ ?; U = 73.7 %.  
*Cleveita* = uraninita.  
*Clopinita* = klopinita.  
*Clorotorita* = torogumita.  
*Colm* = kolm.  
*Coracita* = uraninita.  
*Cordilita* =  $Ce_2BaF(CO_3)_3$ ; Th  $\leq$  0.27 %.  
*Corduvita*: Pseudomorfofisis de berilio en pezblenda.  
*Corvusita*:  $V_2O_4 \cdot 6V_2O_5 \cdot H_2O$ ; U = 1.0 al 2.8 %.  
*Criptolita* = monacita.  
*Cuprosklodowskita*:  $Cu(UO_2)_2Si_2O_7 \cdot 6H_2O$ ; U = 58.6 %.  
*Cuprouranita* = torbernita.  
*Curita*:  $Pb_2U_5O_{17} \cdot 4H_2O$ ?; U = 66.2 al 70.1 %.  
*Dakeita* = schroekingierita.

- Davidita*: Contiene Ti, Fe, Tierras raras, V y Cr; U = 8.1 %; Th = 0.12 %.  
*Delorencita*:  $(Y, U, Fe_2)(Ti, Sn)_3O_8$ ?; U = 8.7 %.  
*Devindita*:  $Pb(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 3H_2O$ ; U = 52.1 %.  
*Diderichita*: Contiene uranio, agua y carbonatos.  
*Djalmita*:  $(U, Ca, Pb)(Ta, Nb, Ti)_3O_9 \cdot nH_2O$ . U = 10.4 %.  
*Droogmansita*: Puede ser relacionado con la sklodowsquita.  
*Dumontita*:  $Pb_2(UO_2)_3(PO_4)_2 \cdot O_2 \cdot 5H_2O$ ; U = 51.0 %.  
*Edwardsita* = monacita.  
*Eitlandita* = samarsquita.  
*Eliasita* = gummita.  
*Ellsworthita* = pirocloro.  
*Enalita* = torita.  
*Endeiolita* = pirocloro.  
*Epiantinita*:  $YUO_3 \cdot XH_2O$ . Producto de alteración de la iantinita.  
*Eremita* = monacita.  
*Eschwegita* = euxenita.  
*Eschinita*:  $(Ce, Ca, Fe?, Th)(Ti, Nb)_2O_6$ . Igual que aeschinita. En series de eschinita-priorita. Th = 9.9 % al 15.4 %.  
*Eucrasita* = torita.  
*Euxenita*:  $(Y, Ca, Ce, U, Th)(Nb, Ta, Ti)_2O_6$ . En series de euxenita-policrasa. U = 3.0 al 9.0 %; Th hasta el 4.3 %.  
*Fergusonita*:  $(Y, Er, Ce, Fe)(Nb, Ta, Ti)O_4$ . En series de fergusonita-formanita. U = 0.8 al 6.3 %; Th = 0.7 al 2.5 %.  
*Ferrotorita* = torita.  
*Fersmita*:  $(Ca, Ce, Na)(Nb, Ti, Fe, Al)_3(O, OH)Fe_6$ ; Th = 0.42 %.  
*Fluterita* = liebigita.  
*Formanita*:  $(U, Th, Ca)(Ta, Nb, Ti)O_4$ . En series de fergusonita-formanita; U = 1.1 %; Th = 1.1 %.

*Fosfocerita* = monacita.

*Fosfocranilita*: Es fosfato de plomo, calcio y uranio. U = 57.3 %.

*Fourmarierita*:  $PbU_4O_{13} \cdot 5H_2O?$ ; U = 70.1 al 70.8 %.

*Frialita* = torita.

*Fritzscheita*:  $Mn(UO_2)_2 [(P, V)O_4]_2 \cdot 8H_2O?$

*Gilpinita* = joannita.

*Guadarramita*: Ilmenita uranífera.

*Gummita*:  $UO_3 \cdot nH_2O$ . Denominación general para minerales que se presentan como alteración de productos de uraninita y no identificados de otra manera. En el grupo están incluidos silicatos, fosfatos y óxidos. U = 31.3 al 70.1 %; Th < 22.0 %.

*Haddamita* = microlita.

*Hagatalita* = circonio.

*Hatchettolita* = pirocloro.

*Hiblita* = torita.

*Hidro-euxenita* = ampingabita.

*Hidrosamarsquita* = samarsquita.

*Hidrotorita* = mackintorita.

*Hielmita* = hjelmita.

*Hjelmita*:  $AB_2O_6$  o  $A_2B_2O_{10}$ ; A = YFe<sub>2</sub>, U<sub>4</sub>, Mn, Ca; B = Nb, Ta, Sn, W; U = 4.0 al 4.3 %.

*Hlopinita* = klopinita.

*Hoegtveitita* = circonio.

*Hokutolita* = barita.

*Huttonita*: Th SiO<sub>4</sub>; monoclinico dimorfo de la torita; Th = 67.4 %; carece de U.

*Iantinita*:  $2UO_2 \cdot 7H_2O?$ ; U = 70.3 %.

*Isikawaíta*: (U, Fe, Y, etc.) (Nb, Ta) O<sub>4</sub>; U = 19.3 %.

*Itrocolumbita* = itrotantalita.

*Itrocrasita* (Y, Th, U, Ca)<sub>2</sub> (Ti)<sub>4</sub> O<sub>11</sub>?; U = 2.3 %; Th = 7.7 %.

*Itrogummita* = gummita.

*Itro-ilmenita* = samarsquita.

*Itro-ortita* = allanita.

*Itrotantalita*: (Fe, Y, U) (Nb, Ta) O<sub>4</sub>; U = 3.4 al 3.9 %; Th = 0.6 al 0.7 %.

*Itrialita*: Aproximadamente silicato de Th e Y; U = 0.8 %; Th = 10.5 %.

*Itriumortita* = allanita.

*Jachimovita* = cuprosklodowskita.

*Johannita*: Cu (UO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> (SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (OH)<sub>2</sub> · 6 H<sub>2</sub>O; U = 55.3 al 61 %.

*Jonstrupita*: Silicato complejo de Na, Ca, Th, Ce y Ti; Th = 0.7 %.

*Kararfveita* = monacita.

*Kasolita*: Pb (UO<sub>2</sub>) SiO<sub>4</sub> H<sub>2</sub>O; U = 43.6 al 44.5 %.

*Klopinita* = chlopinita, hlopinita; (Y, U<sub>4</sub>Th)<sub>8</sub> (Nb, Ta, Ti, Fe)<sub>7</sub> O<sub>30</sub>?; U = 7.2 %; Th = 1.9 %.

*Kochelita* = fergusonita.

*Kolm*: Roca con hidrocarburos y uranio. U = 0.44 %.

*Kondricovita* = condrikita, rinkita.

*Koppita* = pirocloro.

*Lambertita* = uranofano.

*Liebigita*: Ca<sub>2</sub> (UO<sub>2</sub>) (CO<sub>3</sub>)<sub>8</sub> 10 H<sub>2</sub>O?; U = 34.3 %.

*Lindochita* = euxenita.

*Lovchorrita* = rinquita.

*Lovozerita*: Silicato complejo de Ti y Zr; Th = 0.50 %.

*Mackintosita*: (ThU) SiO<sub>4</sub> · 3 H<sub>2</sub>O?; U = 19.7 %; Th = 22.7 %.

*Maitlandita*: (U, Th, Pb) SiO<sub>4</sub> · 3 H<sub>2</sub>O?; U = 31.2 %; Th = 22.7 %.

*Marignacita* = pirocloro.

*Masuyita*: Plomo hidratado y óxido de uranio.

*Medjidita*: Sulfato de uranio y calcio.

- Melanocerita*: Borosilicato de Ce e Y metálicos; Th = 1.5 %.
- Mendelejevita* = betafita.
- Mengita* = monacita.
- Meta-autunita* = autunita.
- Metachalcovita* = torbernita.
- Metasimpsonita* = microlita.
- Metatorbernita* = torbernita.
- Microlita*:  $(\text{Na}, \text{Ca})_2 (\text{Ta}, \text{Nb})_2 \text{O}_6 (\text{O}, \text{OH}, \text{F})$ . U  $\leq$  5,1 %; Th = 0.2 %.
- Monacita*: Esencialmente (Ce, La, Nd, Pr)  $\text{PO}_4$  conteniendo  $\text{ThO}_2$  y  $\text{SiO}_2$ ; Th  $\approx$  8 %, generalmente se eleva hasta 26 %.
- Monacitoid* = monacita.
- Mosandrita*: Silicato complejo de Na, Ca, Ce y Ti; Th = 0.3 %.
- Naegita* = circonio.
- Nagatelita* = allanita.
- Naranjita* = variedad alterada de torita.
- Nasturan* = uraninita.
- Neotantalita* = microlita.
- Nicolayita* = maitlandita.
- Nivenita* = uraninita.
- Nodita*:  $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Y}, \text{etc.} \dots \text{U})_2 (\text{Nb}, \text{Zr}, \text{Fe}^3)_3 \text{O}_{10}$ ; U = 13,0 %.
- Nuoalita* = wiikita.
- Ocres de uranio* = producto de alteración de la pezblenda.
- Oerstedita* = circonio.
- Orangita* = torita.
- Ortita* = allanita.
- Oyamalita* = circonio.
- Paraschoepita*:  $\text{UO}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ?; U = 80.5 %.
- Parsonsita*:  $\text{Pb}_2 (\text{UO}_2) (\text{PO}_4)_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ; U = 26.8 %.

- Pezblenda* = uraninita.
- Pilbarita* = mackintosita.
- Pisekita*: Generalmente un niobato-tantalato-titanado de U y tierras raras, con Th y Sn. Puede relacionarse con la amfangabita.
- Pirahita* = pirocloro.
- Pirocloro*:  $(\text{Na}, \text{Ca})_2 (\text{Nb}, \text{Ta})_2 \text{O}_6 \text{F}$ . Series en pirocloro-microlita; U  $\leq$  14 %; Th  $\leq$  4.4 %.
- Pittinita* = gummita.
- Plumboniobita* = samarsquita.
- Policrasa*:  $(\text{Y}, \text{Ca}, \text{Ce}, \text{U}, \text{Th}) (\text{Ti}, \text{Nb}, \text{Ta})_2 \text{O}_6$ ; U = 5.5 al 12.4 %; Th  $\leq$  4.7 %.
- Polimignita*:  $\text{A} (\text{Nb}, \text{Ti}, \text{Ta}) \text{O}_4$ ; A = Ca, Fe<sub>2</sub>, Y, Zr, Th; Th = 3.4 %.
- Priorita*:  $(\text{Y}, \text{Er}, \text{Ca}, \text{Fe}_2, \text{Th}) (\text{Ti}, \text{Nb})_2 \text{O}_6$ ; U = 0.4 al 3.4 %; Th = 0.5 al 14.9 %.
- Randita* = uranofano.
- Rauvita*:  $\text{CaO} \cdot 2 \text{UO}_3 \cdot 6 \text{V}_2\text{O}_5 \cdot 2 \text{OH}_2\text{O}$ ; U = 21.4 %.
- Renardita*:  $\text{Pb} (\text{UO}_2)_4 (\text{PO}_4)_2 (\text{OH})_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ ; U = 58.5 %.
- Richetita*: Contiene Pb y U.
- Rinquita*: Silicato complejo de Na, Ca, Ce y Zr; Th  $\leq$  0.41 %.
- Rhinkolita*: Silicato complejo de Na, Ca, Ce y Zr; Th  $\leq$  0.41 %.
- Risorita* = fergusonita.
- Rogersita* = samarsquita.
- Rowlandita*: Silicato de itrio; U = 0.4 %.
- Rutherfordina*:  $\text{UO}_2 \cdot \text{CO}_3$ ?; U = 72.1 %.
- Rutherfordita* = fergusonita.
- Saleita*:  $\text{Mg} (\text{UO}_2)_2 (\text{PO}_4)_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$ ; U = 5.8 %.
- Samarsquita*:  $(\text{Y}, \text{Er}, \text{U}, \text{Ca}, \text{Fe}, \text{Th}) (\text{Nb}, \text{Ta})_2 \text{O}_6$ ; U = 8.4 al 16.1 %; Th = hasta el 3.7 %.
- Samuresita* = betafita.

- Schoepita*:  $4 \text{UO}_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O} ?$ ; U = 79.0 %.
- Schroëckingerita*:  $\text{Ca}_3\text{NaUO}_2 (\text{CO}_3)_3 (\text{SO}_4) \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ;  
U = 29.0 %.
- Sengierita*:  $\text{Cu}_2 (\text{UO}_2)_2 (\text{VO}_4)_2 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ; U = 47.2 %.
- Sharpita*:  $6 \text{UO}_3 \cdot 5 \text{CO}_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O} ?$  U = 73.1 %.
- Sipilita* = fergusonita.
- Skłodowska*:  $\text{Mg} (\text{UO}_2)_2 \cdot \text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ ; U = 58.4 %.
- Soddita*:  $5 \text{UO}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O} ?$ ; U = 77.0 %.
- Stasita* = devindtita ?
- Steenstrupina*: Silicato complejo de tierras raras, Th, Na, K, Fe, Mn, Mg, P, Be, Al y Ta con (OH) y F; Th = 6.2 por 100.
- Studtita*: Carbonato hidratado de U y Pb.
- Swartzita*:  $\text{CaMgUO}_2 (\text{CO}_3)_3 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ ; U = 33.6 %.
- Tachiafaltita* = circonio.
- Talenita*:  $\text{Y}_4\text{Si}_4\text{O}_{18} (\text{OH})_2$ . Relacionada con la itriolita.  
Th = 0.16 %.
- Tanteuxenita* = euxenita.
- Tengerita*:  $\text{CaY}_3 (\text{CO}_3)_4 (\text{OH})_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O} ?$  Producto de alteración de la itriolita. Th = 0.3 %.
- Tirita* = fergusonita.
- Tiyamunita*:  $\text{Ca} (\text{UO}_2)_2 (\text{VO}_4)_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$  n = 9-10, pero puede ser hasta 4; U = 47.1 al 59.0 %.
- Torianita*: (Th, U)  $\text{O}_3$ ; U = 15.9 al 39.0 %; Th = 33.7 al 81.5 %.
- Torita*: Th  $\text{SiO}_4$ ; U = hasta el 9.0 %; Th = 25.2 al 62.7 %.
- Torogummita*: (Th, U)  $\text{SiO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O} ?$  Comparable con la pilbarita y nicolayita. U = 20.2 %; Th = 36.3 %.
- Torotungstita*:  $3 \text{WO}_3 \cdot \text{ThO}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O} ?$ ; Th = 14.0 %.
- Toddita* = euxenita.
- Torbernita*:  $\text{Cu} (\text{UO}_2)_2 (\text{PO}_4)_2 \cdot 8-12 \text{H}_2\text{O}$ ; U = 51.2 % al 56.0 %.

- Tritomita*: Borosilicato de cerio e itrio, calcio y torio; también contiene fluorina. Th = 7.5 al 8.3 %.
- Trögerita*:  $(\text{UO}_2)_3 (\text{AsO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ ; U = 57.5 %.
- Tscheffkinita*: Silicato complejo de tierras raras, Fe, Mn, Mg, Ca, Al, Ti, Th y U; U = 2.3 %; Th = hasta el 18.4 %.
- Tucolita*: Hidrocarburo de U y Th; U  $\approx$  5 %, Th  $\approx$  43 %.
- Turanita*: Vanadato hidratado de cobre; contiene el 3.2 % de U.
- Turnerita* = monacita.
- Ulrichita* = uraninita.
- Uraconita*: Hidrosulfato de uranio y cobre; U = 61.0 %.
- Uraninita*:  $\text{UO}_2$  (entre  $\text{UO}_2$  y  $\text{U}_3\text{O}_8$  con  $\text{U}_4$  predominante);  
U = 46.4 al 87.6 %; Th  $\leq$  12.2 %.
- Uranita*: grupo torbernita-autunita.
- Uranochalcita* = cuprosklodowskita.
- Uranocher* = uraconita.
- Uranocircita*: Ba  $(\text{UO}_2) (\text{PO}_4)_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$ . Bario análogo a la autunita.
- Uranocre* = Ocre de uranio.
- Uranofano*: Ca  $(\text{UO}_2)_2 \cdot \text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ; U = 48.1 al 60.4 %.
- Uranofillita* = torbernita.
- Uranolepidita* = vandembrandeita.
- Uranoniobita* = uraninita.
- Uranopilita*:  $(\text{UO}_2)_6 (\text{SO}_4) (\text{OH})_{10} \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ ; U = 69.6 al 69.9 %.
- Uranopissita* = uraninita.
- Uranospatita*: ¿Fosfato hidratado de uranilo?
- Uranosfaerita*:  $\text{Bi}_2\text{U}_2\text{O}_9 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ ; U = 45.9 al 43.3 %.
- Uranospinita*: Ca  $(\text{UO}_2)_2 (\text{AsO}_4)_2 \cdot 8-12 \text{H}_2\text{O}$ ; U = 53.4 %.
- Uranotalita* = liebighita.
- Uranotantalita* = samarsquita.
- Uranotorianita* = torianita.

*Uranotorita* = torita.

*Uranotil* = uranofano.

*Urdita* = monacita.

*Uvanita*:  $2 \text{UO}_3 \cdot 3 \text{V}_2 \text{O}_5 \cdot 15 \text{H}_2\text{O}$ ; U = 32.9 %.

*Vandembrandeita*: Hidróxido de plomo con óxido de uranio.

*Vanoxita*: Óxido hidratado de vanadio, posiblemente  $2 \text{V}_2\text{O}_4 \cdot \text{V}_2\text{O}_5 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$ , U  $\leq$  0.5 %.

*Vietingotita* = samarsquita.

*Voglianita* = cuprosklodowskita.

*Voglita*:  $\text{Cu}_2 \text{Cu} (\text{UO}_2) (\text{CO}_3)_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O} ?$ ; U = 34.7 %.

*Volvortita*:  $\text{Cu}_2 (\text{VO}_4) (\text{OH})$ ; U = 3.1 %.

*Vudiavrita* = rinkita.

*Walpurgita*:  $\text{Bi}_4 (\text{UO}_2) (\text{AsO}_4)_2 \cdot \text{O}_2 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ ; U = 13.5 al 17.0 %.

*Wiikita*: mezcla definida y producto de alteración de minerales elevados en Nb, Ta, Ti, Si y Y.

*Xenotima*:  $\text{YPO}_4$ ; U  $\leq$  3.6 %; Th = 0.4 al 2.9 %.

*Yamaguchilita* = yamagutilita.

*Yamagutilita* = circonio.

Con motivo del interés mundial que tienen los minerales radiactivos, se editaron en 1949, por los organismos oficiales de minas de varios países, como Inglaterra, Canadá, EE. UU. de N. A., etc., cartillas para prospectores, inspiradas, todas, en un criterio análogo, que es el de llevar al profano en el ramo de la minería, ideas para poder formar juicio en caso de encontrar un mineral, sobre la posibilidad de distinguir si es o no uranio o torio. Con análoga orientación se dan unas ideas sobre los minerales más comunes.

**Minerales de uranio.**—El uranio forma parte de la corteza terrestre en la proporción aproximada de 0.0008 %; es más abundante que muchos metales de consumo usual,

como estaño, plata y oro, pero tiene el inconveniente de su enorme difusión. Sus minerales se encuentran, casi únicamente, en las pegmatitas, granitos ácidos y depósitos de disolución hidrotermal residuales formados en la vecindad de los granitos; por el contrario, no se encuentra en rocas básicas segregaciones magmáticas de minerales de óxidos y sulfuros, así como en rocas de débil acidez, como dioritas, anfibolitas, etc. En pequeñas cantidades forma parte de pizarras, areniscas y calizas, así como de los asfaltos, aceites crudos, aguas petrolíferas, colm y, en general, en casi todas las rocas.

Se presenta como óxido, nunca como sulfuro; el mineral primario más importante es la *pezblenda*; este óxido de uranio tiene una riqueza extraordinaria en  $\text{U}_3\text{O}_8$  del 76 al 91 %; se halla en menas compactas y amorfas sin evidencia de cristales en su estructura. Se asocia con la plata, níquel, cobalto y bismuto; tiene fractura negra metálica, la raya y polvo de color negro o negroverdoso, además de ser quebradizo. Son características la densidad elevada de 7.0 a 8.5, alteradas por las impurezas y el lustre de pez del que recibe su nombre. El mineral es soluble en los ácidos nítrico y sulfúrico; se le encuentra en venas asociado con sulfuro, que dan lugar a aguas subterráneas ácidas, por lo que es raro encontrarlo sin alteración superficial; suele estar acompañado de ocre de uranio, que son producto de su descomposición, de colores amarillo canario y naranja. Las gangas más frecuentes de los filones de *pezblenda* son el cuarzo, jaspe, calcita y dolomita. Se encuentra en chimeneas y diques de *pegmatita* dispersos en el cuarzo y feldespato rojo oscuro; con frecuencia se suele encontrar también mica negra e incluso bicolor.

Entre los minerales de uranio primarios figura también la *uraninita* o *pezblenda* cristalizada; sus ejemplares son

raros y tienen muchos caracteres análogos a la pezblenda; cristaliza en sistema cúbico y adopta la forma de cubos octaedros, con densidad de 9 a 10.5, dureza 5.50, fractura concoidea, lustre submetálico grasiento. La raya es de color negro a verdoso y el mineral negro de terciopelo con matiz castaño o verdoso.

De los demás minerales primarios de uranio, son dignos de mención especial la *euxenita* y la *samarquita*, que son principalmente niobatos, tantalatos y titanatos de uranio, torio, calcio, itrio y cerio, con menos interés comercial que los anteriores, por ser más difícil su solubilidad; pertenecen al sistema ortorrómbico, son negros con raya marrón negruzca, lustre resinoso y fractura concooidal por ser menos atacables, más duros y densidad 4.5 a 5.8; estas cualidades favorecen su concentración en placeres y separación en mesas. Se suelen encontrar, principalmente, en las pegmatitas.

Los minerales secundarios más importantes son la *carnotita*, *autunita* y *torbernita*, los tres de gran interés como indicadores de minerales primarios.

La *carnotita* se encuentra como concentración local en depósitos sedimentarios formando impregnaciones en areniscas, conglomerados y pizarra. Es muy blanda, por lo que aparece en polvo cristalino o placas diminutas color amarillo brillante, que se acentúa por calentamiento; pertenece al sistema ortorrómbico; aunque la *carnotita* pura tiene el 64 % de óxido de uranio, se consideran como buenas menas las que sólo tienen el 2 y aun el 1 %.

La *torbernita* o *chalcólita* pura, alcanza leyes de 55 a 60 % de óxido de uranio, cristaliza en el sistema tetragonal y se encuentra en placas tabulares de sección cuadrada según el tamaño mayor. Muy frecuentemente se presenta como agregados de frágiles láminas parecidas a la

mica, con característico color verde esmeralda oscuro, transparentes o translúcidas, peso específico 3.4 a 3.6 y dureza 2 a 2.5. Se suele hallar principalmente en los planos de contacto, fallas de los granitos y rocas análogas.

La *autunita*, conocida también por el nombre de *uranita*, cuando es pura, tiene contenidos del 57 al 62 % de óxido de uranio. Se presenta de manera análoga a la *torbernita*, cristaliza en el sistema ortorrómbico tetragonal o más generalmente en escamas o agregados micáceos de hojas frágiles. El color verde limón, amarillo azufre, rojo, amarillo pálido, transparente o translúcido, con una intensa fluorescencia amarilloverdosa para la radiación ultravioleta. Corrientemente se encuentra como mineral secundario en la pezblenda y en los filones de uraninita.

Se da la denominación de *ocres de uranio*, a las formaciones secundarias, con colores claros de hidruros de uranio y carbonatos, de textura terrosa, aunque hoy se extiende a los hidróxidos, sulfatos, carbonatos, fosfatos, uranatos y demás minerales secundarios procedentes de la alteración de la pezblenda. Los colores dominantes son amarillo brillante, naranja, o rojo marrón intenso, fluorescente corrientemente a la luz ultravioleta, con colores amarillo y amarilloverdoso y, generalmente, solubles en los ácidos.

De los minerales de uranio existen interesantes representaciones en España, de los que dimos una descripción detallada (106), algunos considerados como mera curiosidad mineralógica, y otros de gran importancia industrial, como los de Hornachuelos y Fuenteovejuna, descubiertos por el Ingeniero Antonio Carbonell, con el que tuvimos la suerte de colaborar activamente en esta investigación, donde encontramos *betafita*, *torbernita*, *autunita*, *pezblenda*, *cordubita*, *uraninita* y *schoepita*. Se han reconocido

torbernititas y pezblendas en Badajoz, pezblendas en Barcelona, torbernititas y autunitas en Cáceres, areniscas con uranio en Huesca, torbernititas en Madrid y torbernititas y guadarramitas en Segovia.

**Minerales de torio.**—El torio es más abundante en la corteza terrestre que el uranio; está en una proporción cercana al 0.002 por 100 y también es más abundante que algunos elementos corrientes, como cobalto, molibdeno, estaño y arsénico. Su geoquímica está muy relacionada con la del uranio, por deber su formación a la fase pegmatítica del proceso de cristalización residual. Se encuentra algunas veces en los diques de pegmatitas, de sienita nefelínica y de sienita en los granitos, algo más básicos que los comunes del uranio, ricos en oligoclasa.

Así como el uranio se presenta en las areniscas como una impregnación sin tender a constituir formaciones sabulosas, los minerales de torio, resistentes a los agentes atmosféricos, no dan lugar a impregnaciones secundarias. Los minerales más importantes de torio son la monacita, torianita y torita; el más importante es el primero. La *monacita* llega a tener una proporción en torio del 33 % y el uranio suele alcanzar el 4.5 %; no obstante, se considera como comercial cuando las leyes de torio son del 3 al 10 %, el uranio 0.5 %, pudiendo alcanzar las tierras escasas el 60 %. Las explotaciones más importantes son las de los placeres; se encuentra el mineral como accesorio en diques de pegmatita formando cristales grandes y en masas irregulares a veces diseminadas, y en granito y gneis o pizarras rodeadas por rocas graníticas. Este mineral alcanzó importancia industrial por la obtención del mesotorio. La monacita cristaliza en el monoclinico, se encuentra en buenos cristales planos tabulares, etc., de colores rojo

oscuro, marrón o amarillento, subtransparente o subtranslúcida con lustre resinoso; en general, se encuentra en fragmentos irregulares de granos redondos. No tiene apariencia metálica, es frágil, con fractura desigual concoidea, densidad 5.0 a 5.2, dureza 5.0 a 5.5, que facilita su concentración; las tierras escasas que le acompañan dan al espectro visible una banda clásica por observación directa, que permite identificar los concentrados en las mesas de preparación. Se la encuentra asociada con la ilmenita, circón y rutilo.

La *torianita*, que suele estar impurificada con plomo y tierras escasas, es el mineral con más riqueza en torio, que suele variar de 38 a 39 %, existiendo una variedad con uranio que puede alcanzar el 40 %. Se encuentra en cristales cúbicos pequeños, marrón negruzco o negro, de apariencia metálica, dureza 6.5, frágil y bastante denso, 9.5, con polvo y raya castaño a verde, caracteres estos que, unidos a la rápida solubilidad en ácido nítrico concentrado o sulfúrico, facilitan su identificación. La torianita se suele presentar en condiciones análogas que la monacita, salvo en los placeres.

La *torita* es un mineral rico en torio; suele variar de 50 a 63 % con algo de uranio, que si es bastante recibe el nombre de uranotorita. Es un silicato con apariencia de circón, del que se distingue por su radiactividad elevada, tetragonal, negra o marrón oscuro, que por alteración cambia a naranja, amarillopardusco y amarillo, lo que da lugar a la variedad alterada conocida como naranjita. La densidad varía de 4.5 a 5.2 y la dureza de 4.5 a 5.0. Se encuentra principalmente en granitos y pegmatitas, aunque con frecuencia existe como accesorio en los aluviones de estaño.

Entre los minerales de torio en España, merecen espe-

cial mención las arenas monacíticas de playa, principalmente de las provincias de La Coruña y Pontevedra, de las que estamos estudiando su edad.

## II-6. Detección y prospección de los minerales radiactivos

En el reconocimiento de los minerales radiactivos se pueden emplear las técnicas fundadas en las propiedades descritas en el subcapítulo (I-6), procediendo, según dos criterios, que los minerales se reconozcan en el laboratorio o en el campo. En los reconocimientos de laboratorio se pueden utilizar las técnicas corrientes de los análisis químicos y fisicoquímicos, como espectroscopia y polarografía; además existe una técnica muy rápida, adecuada a los minerales radiactivos, fundada en sus propiedades fluorescentes, pero así como la autunita es fluorescente directamente a las radiaciones ultravioleta, la carnotita no tiene directamente esta propiedad, pero es adquirible al recurrir a la perla con fluoruro de sodio, con lo que hemos podido identificar, por su fluorescencia amarilla, pezblendas, carnotitas, torbernititas, samarskitas, gummitas, betafitas, etc.

La fotografía es cada día más empleada para la valoración en las rocas (en concentraciones muy pequeñas) de torio y uranio, o para ver la distribución de los elementos radiactivos en ellas. La preparación de la roca requiere, primero, la obtención de una sección plana que puede lograrse con la sierra de diamantes, la cual se puede pulir, pero no es conveniente en exceso por la diversa dureza de los minerales, que puede dar lugar al arrastre de partículas activas a zonas que no lo son. Para la valoración del

uranio y torio se recurre, por medio de emulsiones especiales para aplicaciones nucleares, a contar el número de partículas alfa pertenecientes al uranio y al torio. Las marchas fundamentales son tres, según que la muestra esté en solución, en polvo o en sección plana.

Los contadores se utilizan en el estudio de los minerales de diferentes maneras que para otros fines, con el objeto de alcanzar mayor sensibilidad. Si los tubos para radiaciones beta y gamma se rodean totalmente por mineral en polvo y éste, a la vez, de una protección de plomo que lo proteja de la radiación cósmica, se obtiene mejor sensi-

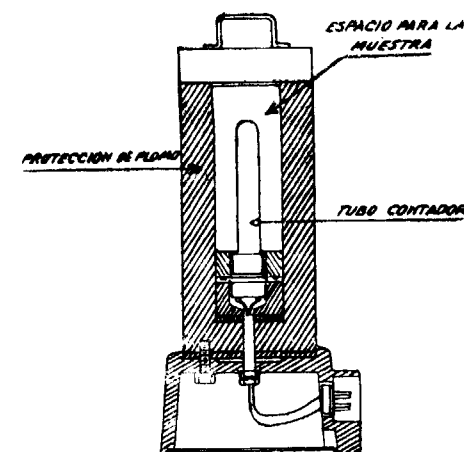


Fig. II-15.—Analizador de mineral.

bilidad, que permite medir la radiactividad de los minerales de uranio y torio y la de otros de mayor período, como los de potasio. El aparato auxiliar descrito se denomina analizador radiactivo de mineral (fig. II-15); consta de un cilindro de plomo de 3 cm. de espesor en las paredes,



en el interior y coaxial se introduce un cartucho de cartulina, que por su cara interna hace contacto con el tubo contador y otro metálico, en contacto con el plomo exterior; el espacio entre ambos cartuchos, que será de un centímetro de espesor, se llena con el mineral pulverizado.

En las medidas más precisas, se toman precauciones especiales, como son la igualdad de grano en todas las muestras que se comparan, con tamaño de 100 a 150 mallas, absorción de la radiación externa con un filtro de plomo, igualdad del espesor de la muestra, tanto por la emisión como por la absorción de radiaciones. De todas las condiciones, ésta es una de las más importantes, como se ve por la fig. II-16.

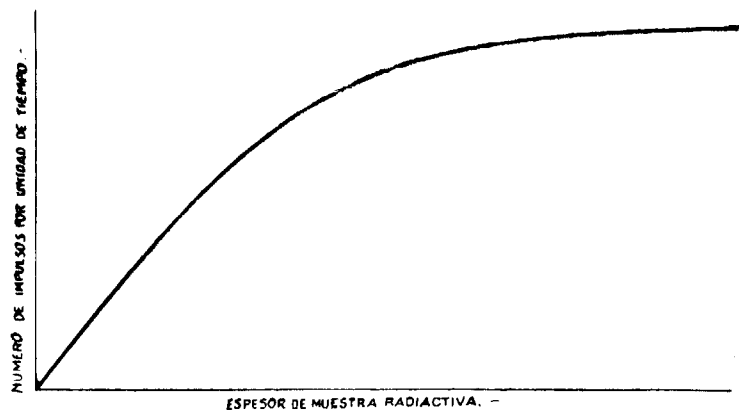


Fig. II-16. — Influencia del espesor de la muestra en el número de impulsos.

En las mediciones de minerales de uranio, se tendrá en cuenta la difusión del radón, que puede ser considerable en las muestras porosas, como la carnotita; por tal motivo, se recurre en estos casos a revestir la muestra con una resina plástica, para que al cabo de algunas semanas, alcance el equilibrio radiactivo y efectuar las medidas con ga-

rantía. Puede presentarse el caso de un enriquecimiento de radio, que altere el equilibrio; en este caso se introducirán las correcciones oportunas en la medición.

Los trabajos propios de prospección en el campo se agrupan en tres criterios: según que se funde en la captación del aire emanado, se recurra a la radiación penetrante o a la testificación de sondeos.

Se denomina aire emanado en prospección radiactiva, a la mezcla de aire subterráneo con los isótopos del gas 86, denominado emanación ávido por difundirse por las hendiduras y fallas, de utilidad grande para evidenciar accidentes tectónicos. Este gas tiene la propiedad de concentrarse en determinadas circunstancias, como ocurre bajo la nieve, que actúa como si fuera impermeable; fenómeno análogo ocurre con la superficie de separación de algunos cristales. La prospección por esta técnica, consiste en la captura del aire del subsuelo, que se envía a una cámara de ionización, donde se mide su actividad.

La prospección por radiación penetrante está basada en la propiedad que tienen las radiaciones gamma e incluso las beta, de tener bastante alcance y poder atravesar las paredes de las cámaras de medida, produciendo una ionización que se mide y utiliza para el trazado de las isorradias. Existe un hecho cierto que da garantía a este método, y es que cada capa geológica tiene un poder de ionización específico, diferente del correspondiente a otra capa, aunque sea cercana. En estudios efectuados por Rothé, ha podido comprobar la existencia de lavas, basaltos y granitos muy activos, mientras que otros petrográficamente, que son muy próximos, no ofrecen ninguna actividad; estas diferencias orientaron para la localización de los sitios más activos y de posible envejecimiento.

En las prospecciones radiactivas hay dos causas que

reducen considerablemente la profundidad alcanzada. Cuando se emplean métodos de emanación, lo es la dificultad de tener directamente aire de profundidad superior a un par de metros. Si el método usado es el de la radiación penetrante, lo es la absorción tan enorme del terreno muerto, que con un metro de espesor absorbe prácticamente toda la radiación ionizante, pudiendo pasar desapercibida con unos decímetros de recubrimiento.

En la prospección de filones o bolsadas radiactivas, donde el mineral está muy diseminado y de una manera irregular, como ocurre en las zonas de Hornachuelos y Fuenteovejuna, la técnica de la radiación penetrante es muy útil, aunque la interpretación de los resultados es difícil, por la acción de los terrenos muertos, pero las

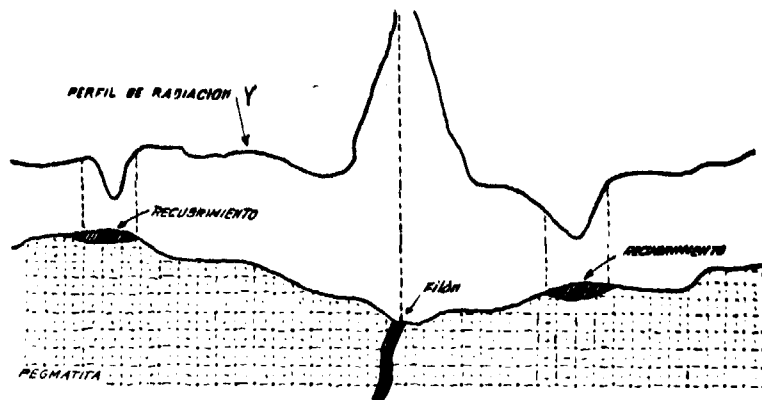


Fig. II-17.—Perfil  $\gamma$  de una prospección radiactiva.

curvas isorrádicas son buenas orientaciones para fijar las zonas más mineralizadas, e incluso la selección de chimeneas y prolongación de la zona radifica en las colindantes como se supone. En la fig. II-17, se representa un perfil de radiación gamma, donde existe una capa rica en uranio, y unos terrenos de recubrimiento en la pegmatita.

Los contadores para detección de minerales conviene sean portátiles, de poco peso y con pilas que tengan carga para varias jornadas de trabajo, a no ser que cada vez se carguen con la correspondiente magneto; no deben ser afectadas por la humedad, y el tubo se construirá acondicionado para trabajar en inmersión en el agua. Conviene estén equipados con auriculares, microamperímetros de lectura directa y computadores, según la técnica a seguir en la prospección.

La testificación radiactiva de sondeos tiene un fundamento parecido a la eléctrica; consiste en inscribir de una manera continua las variaciones de la radiación gamma en profundidad a través del entubado de los sondeos, de esta manera se ve la correlación de capas semejantes en los diferentes sondeos del mismo campo.

Pueden tener interés las experiencias realizadas este año por Stead, del U. S. Geological Survey (158\*), sobre investigaciones radiactivas desde avión. Las investigaciones aéreas siempre presentan dificultades grandes, y más en este caso, que los terrenos muertos pueden absorber casi totalmente las radiaciones gamma. Los vuelos para la investigación no se deben efectuar con alturas superiores a 700 metros, y con ello creemos que de momento sólo se pueden determinar zonas pequeñas, si la radiactividad es considerablemente superior a la de los terrenos circundantes.

Si la radiactividad no es muy importante, para distinguirse la zona, ha de cubrir más superficie, y en el caso de que la diferencia de la radiactividad de los terrenos no sea muy grande, la zona ha de tener dimensiones considerables. Del rendimiento elevado, da idea el que del 30 de mayo al 21 de junio de 1950 se reconocieron, en Michigan, 1 600 millas cuadradas, y hemos podido contar en el mapa de

«Comisión de Energía Atómica», de los Estados Unidos, de dicha zona, más de 130 anomalías, superiores a la media del terreno.

Las prospecciones de las sustancias radiactivas, se han simplificado en el último decenio, gracias a los perfeccionamientos de las técnicas nuevas, que permiten determinar cantidades muy pequeñas de elementos activos. El radio, con técnicas directas, se determina perfectamente en proporciones de  $2.5 \times 10^{-13}$ , y si se recurre a la fusión y extracción del radón, la sensibilidad llega a  $7 \times 10^{-14}$ . Análogamente permiten efectuarse detecciones a distancias grandes; si las concentraciones son elevadas en productos industriales, como el radio y sus concentrados, se pone en evidencia un mg. de aquel elemento a 30 m. de distancia.

Para la prospección radiactiva, sirve de orientación el contenido en uranio, radio, y el contenido en torio de las diversas rocas y formaciones. Con tal fin se incluye el cuadro adjunto, pudiendo también ser de utilidad los valores dados por Vinogradov (168) para la biosfera, que son Rb-1.9 a  $8.9 \times 10^{-3}$  %, Pb-0.38 a  $4.3 \times 10^{-3}$  %, Ra-1.9 a  $2.9 \times 10^{-10}$  % y Th-2.6 a  $9.5 \times 10^{-1}$  %.

*Promedio de contenidos en peso de Th y Ra por algunas rocas*

	Th $\times 10^5$	Ra $\times 10^{12}$
Andesita . . . . .	0 a 0.7	1.6 a 3.7
Basalto . . . . .	0 a 0.5	0 a 2.3
Diorita . . . . .	0.2 a 0.3	1.6 a 3.5
Fonolita . . . . .	1.9 a 2.2	2.8 a 4.0
Gneis . . . . .	0 a 0.5	0.9 a 4.6
Gneis granulítico . . . . .	0 a 0.1	2.0 a 2.7
Granito . . . . .	0 a 5.2	0.6 a 12.1
Grauvaca . . . . .	0 a 0.1	0.5 a 0.7
Labradorita . . . . .	0 a 0.1	0.1 a 0.3
Lava . . . . .	0 a 0.6	1.0 a 1.3
Riolita . . . . .	0.1 a 3.8	0.6 a 5.8
Sienita cuarcífera . . . . .	0	2.7
Traquita . . . . .	0.3 a 0.7	1.0 a 3.8

En los procesos de testificación por radiación  $\gamma$  es necesario tener en cuenta todas las actividades, aunque sean débiles, como la del potasio, dando en el cuadro la equivalencia de esta radiación a la del Ra, obtenidas con datos de Russell (150\*) y otros autores.

*Radiactividades  $\gamma$  en equivalencias de Ra en peso*

	Ra $\times 10^{-12}$
Arenisca . . . . .	2.9 a 7.5
Anhidrita, carbón, sal . . . . .	< 2
Caliza sin esquistos . . . . .	4.1
Dolomía sin esquistos . . . . .	3.1 a 4.1
Esquistos . . . . .	13 a 26
Margas . . . . .	8.8 a 16
Masa continental . . . . .	4
Basalto subcontinental . . . . .	0.8
Basalto suboceánico . . . . .	0.002
Dunita . . . . .	0.4
Eclogita . . . . .	0.3

Entre las rocas más activas figuran los esquistos, las bentonitas y las cenizas volcánicas. La débil radiactividad de las areniscas, calizas y dolomías suelen aumentarse cuando contienen impurezas, como margas, esquistos y materia orgánica. Las areniscas tienen la particularidad de ser menor su radiactividad cuando aumenta la permeabilidad, por lo que se puede emplear el doble método de testificación  $\gamma$  y de potencial espontáneo para la identificación de capas.

## II-7. Los elementos radiactivos como indicadores

En los últimos años ha existido un aumento continuo y simultáneo de las aplicaciones industriales de los elementos radiactivos como indicadores, y del desarrollo de sus aplicaciones en el campo de la geofísica. Con fines de prospección, así como para todos los problemas relacionados con ella, se emplean los indicadores con dos técnicas diferentes, *fijos* o *móviles*.

Los indicadores fijos se suelen utilizar, en general, como referencia, principalmente en los pozos petrolíferos; de los indicadores móviles se hace uso para casos como el de identificación de filtraciones de agua.

El objeto de utilizar sustancias radiactivas fijas como indicadores en los sondeos, parte de la necesidad de localizar con precisión elevada un punto determinado, problema de fundamental importancia en las investigaciones petrolíferas, donde se debe fijar una capa respecto a la testificación eléctrica, o con relación a otra capa, sin tener importancia la profundidad precisa respecto a la boca del

pozo. Sin estos indicadores se presentan grandes dificultades para la situación en la columna estratigráfica de la caña del sondeo de los instrumentos de trabajo, por la influencia considerable que ejercen sobre la longitud total del material utilizado, la tensión, temperatura, y calibración del medidor de profundidad. Si se considera como ejemplo una profundidad de unos 3,000 m., el efecto de la tensión y el térmico que corresponde a un aumento de temperatura de 30° da un aumento de la longitud del cable de 2.5 m., que equivale aproximadamente a uno por mil, o sea, que el punto identificado se registra como si estuviese a una distancia de la boca de sondeo menor que la real en cerca de tres metros.

Los indicadores de los sondeos necesitan ser sencillos y de colocación fácil, para no aumentar al maestro de sonda, sobre las dificultades propias del sondeo, las asociadas las manipulaciones de estos indicadores, para obtener mayor precisión en localización del punto.

Los primeros indicadores fijos que se usaron fueron los magnéticos y térmicos, pero posteriormente se pudo apreciar una superioridad destacada a favor del empleo de los indicadores radiactivos, hasta el punto de ser los únicos que se utilizan en la actualidad.

Los indicadores radiactivos, empleados con éxito extraordinario en todos los campos petrolíferos del mundo, consisten en una fuente de rayos  $\gamma$  originados por una sal de radio. Las radiaciones que emiten son capaces de atravesar varios decímetros de cemento y mm. de acero, descubrirse fácilmente y durar más que los pozos.

Otra de las aplicaciones de los indicadores radiactivos fijos es en la medición de los espesores de los

revestimientos de los sondeos, para esta aplicación se mezcla el cemento que se ha de utilizar para el revestimiento con una sustancia radiactiva, que suele ser un mineral de uranio, de manera que la mezcla tenga una riqueza en este elemento de 1 en 1,000 a 1 en 10,000. La mezcla se inyecta a presión en el sondeo y con el detector radiactivo se observa un aumento de la radiactividad en las zonas en que aumentan los espesores de revestimiento.

Las aplicaciones de los indicadores radiactivos móviles son variadas; con ellos se puede conocer perfectamente una infiltración de agua, dado que si ésta se activa previamente se podrá apreciar si el agua marcada pasa o no a otros conductos acuíferos. De esta manera se ven sustituidas las antiguas materias colorantes indicadoras, por las sustancias radiactivas utilizadas como indicadores móviles.

En las explotaciones petrolíferas se suele utilizar las inyecciones de agua a presión, con el objeto de que desplace el petróleo, ascendiendo a la superficie, bien el petróleo sólo o bien una mezcla de agua y petróleo, pero en algunas ocasiones puede romper el agua las contenciones naturales e irrumpir por el pozo. Por métodos corrientes es difícil localizar la zona del pozo por donde se presentan estas venidas de agua, que son fáciles de localizar por un indicador radiactivo móvil. Se debe utilizar como indicador radiactivo un emisor de radiaciones gamma, con un período relativamente largo, como es el  $CO^{60}$ , que se introduce con el agua, cuando se sospecha o quiera verificar si hay paso directo del agua de inyección al pozo de extracción. Para ello se desplaza un testificador gamma por el pozo, se comprueba si existe o no tal contaminación y, caso afirmativo, identificar en qué punto del sondeo tiene lugar la surgencia del agua marcada.

Un empleo indirecto de las sustancias radiactivas como indicadores móviles, es la testificación neutrónica; para ello se utiliza una célula de radio-berilio que bombardea neutrónicamente los terrenos y medio que la rodean, dando lugar a una radiación secundaria penetrante, más fuerte que la natural del terreno, registrada por un contador, de manera análoga a la testificación gamma. Como los neutrones son frenados por los núcleos de hidrógeno, al aumentar su contenido disminuye la intensidad de la radiación secundaria, pudiendo detectarse fácilmente la existencia de agua, petróleo, etc., que impregnan las rocas atravesadas por el sondeo.

### **III. LOS MÉTODOS RADIATIVOS DE MEDICIÓN DE EDADES**

Una de las aplicaciones geofísicas más interesantes de la radiactividad es la medición de edades; son varias las técnicas que se han establecido, y sus resultados han permitido establecer una correlación entre años y momentos esenciales uranológicos, así como la fijación en años de la columna geológica que es objeto del capítulo IX.

#### **III-1. Método de las aureolas pleocroicas**

En ciertos minerales, como la biotita, muscovita, etc., se suelen presentar pequeñísimas inclusiones, de 1 a 4  $\mu$ , formadas por apatito, circón, etc., y una cantidad variable de elementos radiactivos. En torno a dichas inclusiones tiene el mineral superficies esféricas coloreadas y concéntricas que, al observarlo en cortes muy delgados, aparecen como fajas de colores oscuros y contornos perfectamente delimitados, que se llaman aureolas pleocroicas.

Estas aureolas están perfectamente explicadas y pueden obtenerse artificialmente. Los elementos radiactivos contenidos en las inclusiones lanzan radialmente partícu-

las  $\alpha$  que, por su gran energía cinética, ionizan los átomos del mineral y ocasionan una acción colorante al final de su trayecto.

Como se dijo, se debe a Geiger y Nuttall (1911) una importantísima relación empírica que liga el radio R de cada anillo con la constante radiactiva  $\lambda$ , fórmula I-31

$$\text{Log } R = A + B \log \lambda$$

donde A y B son constantes que dependen del mineral en que se halla la inclusión, pero no del elemento radiactivo; el valor de B es el mismo para las tres familias, y de una a otra cambia la constante A. Por otra parte, el alcance R depende de la energía cinética de las partículas  $\alpha$ , o sea del proceso radiactivo considerado. En consecuencia, en torno de cada inclusión se formará un anillo por cada una de las emisiones  $\alpha$  que se producen al pasar del elemento origen al elemento estable de la familia. Así, por ejemplo, el U1 da ocho anillos, mientras que el Ra da únicamente los cinco últimos del U1.

La edad del mineral en que hay una inclusión podrá determinarse, si se mide la coloración de los halos y se conoce la naturaleza y la cantidad del elemento radiactivo que los ha originado, si se puede establecer cuánto vale la coloración que una masa dada de dicho elemento produce en un tiempo determinado. Esta última circunstancia es conocida gracias a los anillos obtenidos experimentalmente por Joly y Rutherford. La naturaleza del elemento radiactivo se deduce sin dificultad por el número, tamaño y coloración relativa de los anillos. Donde fracasa el método es en la determinación de la masa radiactiva contenida en la inclusión, pues dada su pequeñez es preciso recurrir a métodos indirectos y a hipótesis de poca exactitud. Por esta causa, los resultados obtenidos merecen poca confianza. Del conocimiento de la masa actual del elemento

radiactivo se deduciría inmediatamente el número  $N_t$ . De la medida de la coloración se calcula, gracias a los referidos experimentos de Joly y Rutherford, el número  $m$  de átomos que han evolucionado:

$$m = N_0 - N_t$$

Existen, por consiguiente, datos suficientes para calcular el valor de  $t$  con la fórmula general de desintegración (I-6).

El método de halos pleocroicos no puede conducir a valores exactos para la edad de los minerales, por la imposibilidad de medir con suficiente exactitud la masa actual de cada uno de los miembros de la familia radiactiva contenida en la inclusión. Sin embargo, son de gran interés los estudios realizados con los referidos halos, porque permiten deducir consecuencias importantes, a saber: 1.<sup>a</sup>, han servido para poner de manifiesto la existencia de un nuevo elemento radiactivo, que es el AcU; 2.<sup>a</sup>, se puede decir que no hay en la naturaleza ningún elemento radiactivo desconocido que se transforme con emisión de partículas  $\alpha$ , a no ser que tengan períodos del orden de  $10^{13}$  años o superiores, que puedan corresponder a las aureolas existentes en las micas precambrianas de Ytterby (Suecia) y a las de Irich, que no creemos sean originadas por la serie  $(4n + 1)$  como opinan algunos autores (146 y 147), pues los demás anillos observados corresponden a elementos ya descubiertos; 3.<sup>a</sup>, caso de haber existido elementos transuránicos, no pueden haberse transformado en elementos conocidos durante los períodos geológicos, puesto que para que esto último ocurriese sería preciso que hubiese emisión de partículas  $\alpha$  con la aparición de los correspondientes halos, lo que no se ha observado, según indicamos anteriormente, a no ser que los elementos estuviesen en cantidades muy pequeñas; 4.<sup>a</sup>, los halos sirven también para

demostrar la inmutabilidad a través de más de  $10^9$  años, de sus radios o alcance de las partículas alfa y de acuerdo con la ley de Geiger-Nuttall de la probabilidad de transformación, o sea, que el período permaneció inalterable a través de este tiempo.

Del estudio de las aureolas se han deducido dos tipos de núcleos; en uno cesó la emisión de las partículas alfa, mientras que en otro continúa; los clasificó Henderson como núcleos activos y pasivos. A los pasivos les asigna un origen hidrotermal, su ennegrecimiento no aumentó desde que se produjo la emisión de la última partícula alfa; las edades deducidas por la aureola que éstos producen son límites mínimos. En las aureolas de núcleos activos, continúa la emisión de las partículas alfa, con el consiguiente ennegrecimiento de los anillos, como ocurre con los comunes, debidos al uranio, y los menos frecuentes, producidos por el torio.

### III-2. Método del helio

La marcha del helio para cálculo de edades es debida a Rutherford (1904), quien indicó, en el International Congress of Arts and Science de St. Louis, la posibilidad de determinar la edad conociendo el helio y uranio contenido en un mineral.

Para la valoración de edades es suficiente tener en cuenta que, por cada átomo de cabeza de familia que se transforma en elemento estable, hay un desprendimiento de ocho, siete, seis y una partículas atómicas alfa a partir el U, AcU, Th y Sm<sup>147</sup>, respectivamente, cada una de las cuales, al neutralizarse, se convierte en un átomo de helio.

Es necesario para la valoración de los años, conocer el número de átomos cabeza de familia que se transformaron; éste se obtiene al dividir el número de átomos de helio existentes, entre el de las partículas  $\alpha$  a que dió lugar cada uno de los radiactivos cabeza de familia para llegar a transformarse en elemento estable. El número de los átomos iniciales se conoce por la suma de los que existen actualmente en la muestra y los que se transformaron. Por la fórmula general (I-6) se puede deducir la edad, conocidos ambos números, y el período mayor de toda la familia.

La fórmula general que da el valor en años, se establece al tener en cuenta que el número de átomos de uranio que han evolucionado durante el tiempo  $t$  es

$$m_U = \frac{U_0 - U_t}{237.98} = \frac{U_t}{237.98} [\exp \lambda_U t - 1] \quad (\text{III-1})$$

análogamente para el torio

$$m_{Th} = \frac{Th_0 - Th_t}{232} = \frac{Th_t}{232} [\exp \lambda_{Th} t - 1] \quad (\text{III-2})$$

y al tener en cuenta que cada átomo de uranio engendra ocho de helio y cada uno de torio seis, se obtiene la fórmula

$$\frac{He}{4} = 8 \frac{U_t}{237.98} (\exp \lambda_U t - 1) + 6 \frac{Th_t}{232} [\exp \lambda_{Th} t - 1] \quad (\text{III-3})$$

al desarrollar y despreciar las potencias superiores, a la primera se deduce

$$t = \frac{He}{U + 0.249 Th} \times 4,9 \times 10 \text{ años} \quad (\text{III-4})$$



donde He, U y Th representan el número de átomos actuales de estos elementos contenidos en la muestra. Existe en esta fórmula aproximada un error menor del 10 %, por haber supuesto que durante los tiempos geológicos no disminuyeron los átomos de U y Th, y haber asignado el mismo período al U que al AcU.

El aludido error no tiene importancia, si se tiene en cuenta que al valorar el helio se presentan otros mayores, como son, además de la emigración de este gas en caliente, el de su desprendimiento en contacto con el aire, y como consecuencia, al porfirizar la muestra, por lo que el valor hallado es menor que el correspondiente a la cantidad de heliones producidos, y al sustituirlo en las fórmulas da una edad que sólo se puede considerar un mínimo de la real, la que suele ser alrededor del 50 %.

### III-3. Método general

El método general para valoración de edades está basado en la cantidad de elementos que han evolucionado del elemento cabeza de familia radiactiva. Para determinar la edad geológica se necesita valorar el número de átomos  $N_t$  en el momento actual del elemento origen de la familia radiactiva, el  $m$  del final o estable y conocer el período. El número de átomos de los elementos orígenes de familias se puede deducir, por figurar en las tablas de isótopos los tantos por ciento en que éstos entran actualmente en el respectivo elemento químico, que son: U-99.274 %; AcU-0.720 %; Th-100 %; Re<sup>187</sup>-62.93 %; Lu<sup>176</sup>-2.5 %; Sm<sup>147</sup>-14.62 %; La<sup>138</sup>-0.089 %; In<sup>115</sup>-97.77 %; Rb<sup>87</sup>-27.2 % y K<sup>40</sup>-0.011 %. Conocido el número total de

átomos del elemento químico, se obtiene al multiplicarlo por el tanto por ciento respectivo el valor de  $N_t$ .

Si los elementos finales no están contaminados, el número  $m$  será el de átomos que dé el análisis de los elementos fin de serie; la suma de ambos  $m$  y  $N_t$  representa el número de átomos originarios, de acuerdo con la fórmula ya establecida,

$$N_o = m + N_t = N_t (\exp \lambda_N \times t) \quad (\text{III-5})$$

de donde

$$t = \frac{1}{\lambda_N} \ln \frac{m + N_t}{N_t} = \frac{T_N}{\ln 2} \times \ln \frac{m + N_t}{N_t} \quad (\text{III-6})$$

o como se suele expresar generalmente, con el fin de poder usar logaritmos decimales

$$t = T_N \times 3.322 \times \log \frac{m + N_t}{N_t} \quad (\text{III-7})$$

Todos los valores que intervienen en esta fórmula son perfectamente conocidos.

Como fórmula general, para el caso de que en el mineral coexistiese uranio y torio, se tiene la siguiente, deducida de la fórmula general de evolución:

$$\text{Pb}_t = \text{U}_t [\exp (\lambda_{\text{U}} t) - 1] + \text{AcU} [\exp (\lambda_{\text{Ac}} t) - 1] + \text{Th}_t [\exp (\lambda_{\text{Th}} t) - 1] \quad (\text{III-8})$$

si se tiene en cuenta  $\text{U}_t = 0.992 \text{U}_t$  y  $\text{AcU}_t = 0.008 \text{U}_t$  se introduce la masa atómica del plomo contenido en el ejemplar  $m_{\text{Pb}}$  y desprecian los términos de segundo grado, se obtiene la ecuación

$$\frac{M_{Pb}}{M_U + M_{Th}} = \frac{M_U}{M_U + M_{Th}} m_{Pb} [4,6 \times 10^{-3} [\exp(\lambda_{U1} t) - 1]]$$

$$3,00 \times 10^{-3} [\exp(\lambda_{AcU} t) - 1] + \frac{M_{Th}}{M_U + M_{Th}} \times m_{Pb}$$

$$\times 4,31 \times 10^{-3} [\exp(\lambda_{Th} t) - 1] \quad (III-9)$$

que se puede resolver gráficamente; para ello se considera

$$Y = \frac{M_{Pb}}{M_U + M_{Th}} \quad (III-10)$$

$$X = \frac{M_U}{M_U + M_{Th}} \quad (III-11)$$

con lo que se tiene la ecuación de la forma

$$Y = \text{const} \times X + \text{const} \times (1 - X) \quad (III-12)$$

con ella se constituyen familias de curvas para diferentes valores de  $t$  (fig. III-1) (\*). Familias de curvas con este fin fueron calculadas por Wickman entre 10 y 3,200 m. (178). Este método general es el más preciso de los tres; en él existen dos causas de error, que son: disminución de los elementos, sea del cabeza de familia o del estable, o bien aumento de los elementos por contaminación. El aumento del primer elemento y la disminución del segundo conducen a una edad superior de la real, mientras que en el caso

(\*) Las cuatro figuras de este capítulo son reproducción de las gráficas de Wickman (176 y 178).

contrario da lugar a una edad inferior. Como este método no tiene comprobación fácil de las contaminaciones o pérdidas, tampoco es aconsejable, aunque en general es más preciso que el de las aureolas y el del helio.

Si se dispone de espectrógrafo de masas para determinar la composición isotópica del plomo, es de muy buena precisión, salvo pérdidas o contaminaciones, la valoración de la edad por las relaciones  $\frac{Pb^{208}}{Th}$  y  $\frac{Pb^{206}}{U1}$ , con este fin dió Wickman una gráfica que reproducimos (figs. III-2 y III-3); para construirlas consideró  $T_{U1} = 4,56 \times 10^9$  a.  $T_{Th} = 1,39 \times 10^{10}$  a.

El método de valoración de edades por la relación Sr/Rb fué desarrollado por Ahrens (1 y 5) con el empleo de técnicas espectroquímicas, a base de líneas ISr 4077/IRb 4202 y llega a preconizar que los métodos fundados en la relación Rb/Sr quizá sean los mejores para las rocas antiguas, principalmente las precambrianas. Existen minerales que son preferibles para esta técnica, por su contaminación con estroncio común, como son las lepidolitas.

La valoración de edades por la relación Sm<sup>152</sup>/Nd<sup>148</sup> fué sugerida por Wahlen en 1942; en la actualidad, al aplicar esta técnica, se debe tener en cuenta que el samario radiactivo es el de masa 147.

### III-4. Método de los plomos

Al existir dos familias radiactivas con isótopos diferentes como origen, que son los uranios U1 y el AcU, de los cuales se conocen su relación actual I39/I, y dos isótopos por elementos finales o estables, que son, respectivamente,

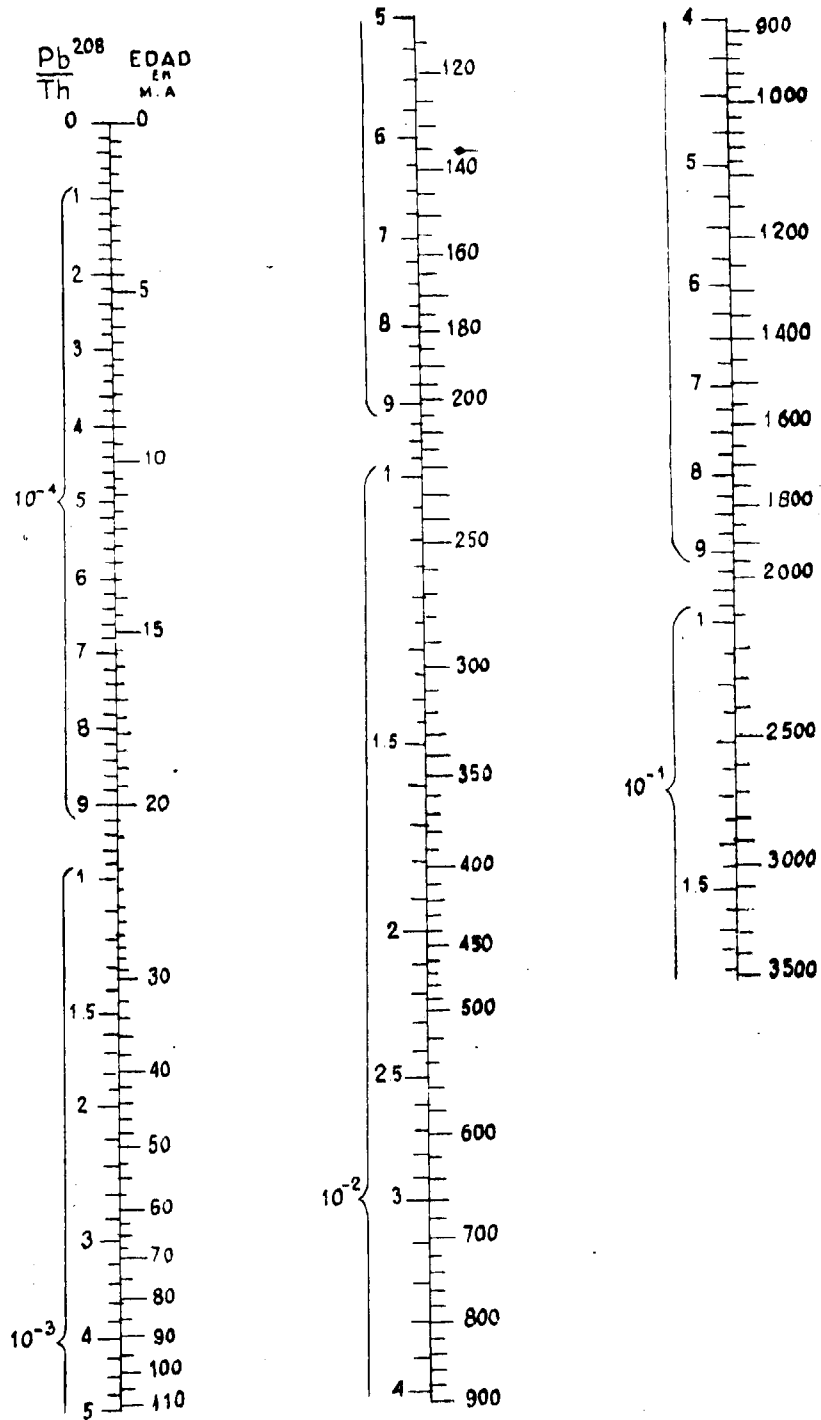


Fig. III-2.—Gráfica para el cálculo de la edad por  $\frac{Pb^{208}}{Th}$

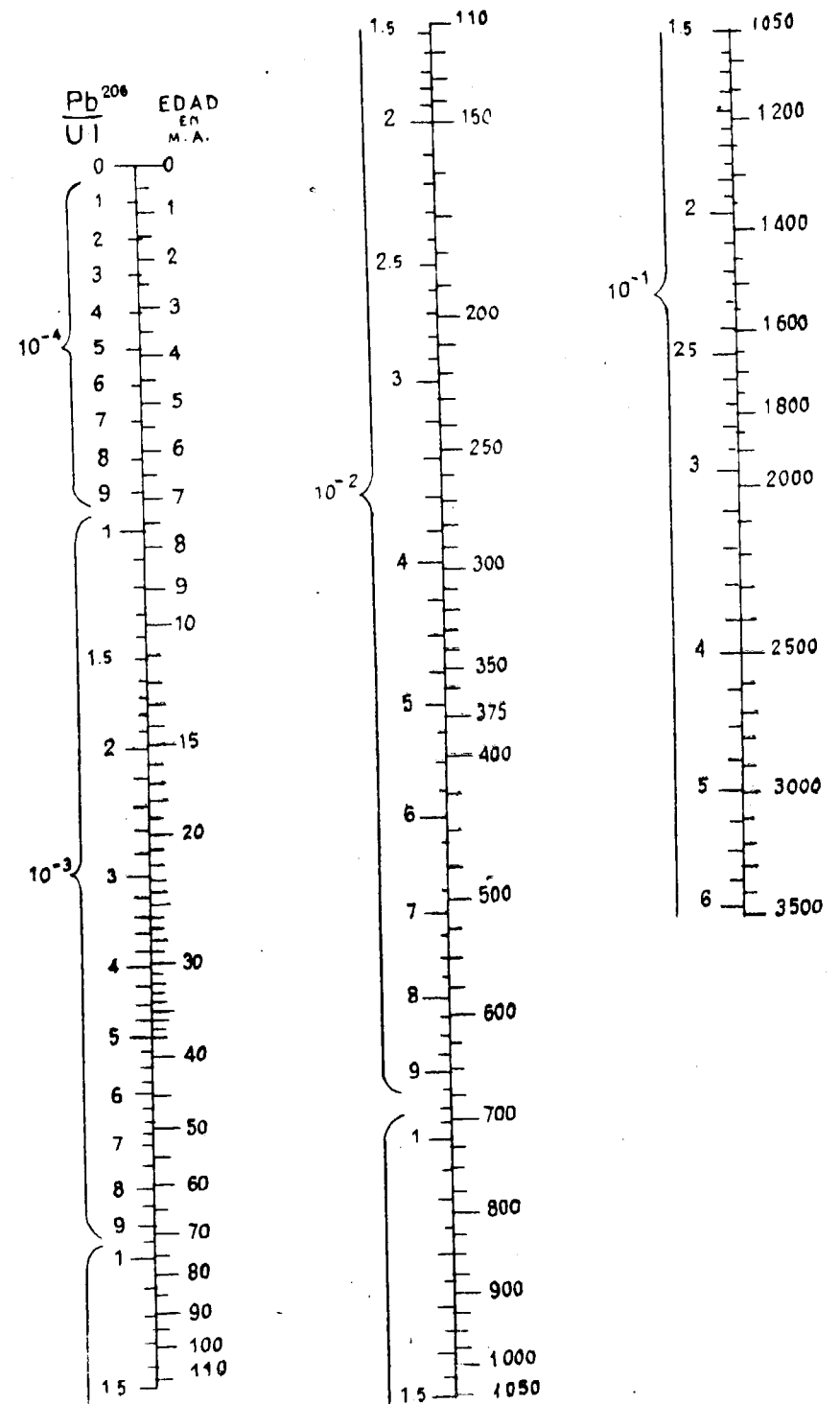


Fig. III-3.—Gráfica para el cálculo de la edad por  $\frac{Pb^{206}}{U}$

los plomos RaG y AcD, se puede establecer un nuevo método para valoración de edades.

Según las fórmulas generales

$$Pb_{t^{206}} = U_{t} [\exp (\lambda_{U_{I}} \times t)-1] \quad (III-13)$$

$$Pb_{t^{207}} = AcU_{t} [\exp (\lambda_{AcU} \times t)-1] \quad (III-14)$$

de donde

$$P = \frac{Pb^{206}}{Pb^{207}} = \frac{U_{t} [\exp (\lambda_{U_{I}} \times t)-1]}{AcU_{t} [\exp (\lambda_{AcU} \times t)-1]} = 138,4 \frac{\exp (\lambda_{U_{I}} \times t)-1}{\exp (\lambda_{AcU} \times t)-1} \quad (III-15)$$

de estas fórmulas se puede dar una gráfica, según hizo Wickman, que da el valor de  $t$  para cada uno de  $P$  (figura III-4).

### III-5. Otras técnicas

Después de establecidos los métodos generales, las investigaciones se encaminaron a introducir nuevas variantes en las técnicas de medición de edades, manteniendo un progreso constante en esta rama de la geofísica.

En varias publicaciones hemos planteado el tema de la variación con el tiempo de las composiciones isotópicas de los elementos que en su pléyade tienen algún elemento radiogénico, y como la composición es función del tiempo, puede servir como indicio de edad del momento en que se formó el ejemplar la relación en que estén un isótopo ra-

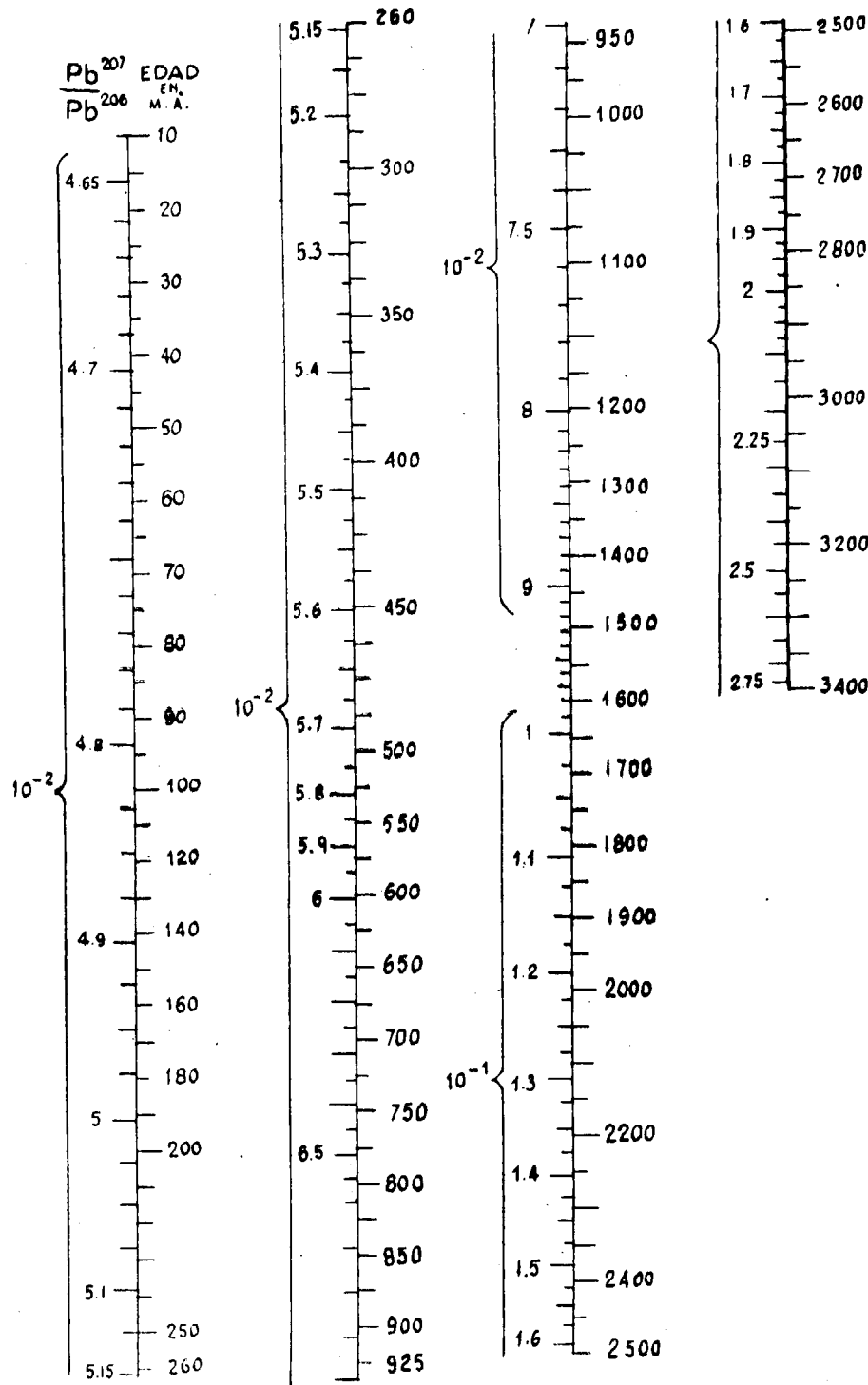


Fig. III-4.—Gráfica para el cálculo de la edad por  $\frac{Pb^{207}}{Pb^{206}}$

diogénico y uno originario de cada pléyade. En el caso del plomo, son índices de edad  $\frac{Pb^{206}}{Pb^{204}}$ ,  $\frac{Pb^{207}}{Pb^{204}}$  y  $\frac{Pb^{208}}{Pb^{204}}$ ; lo mismo ocurre con los demás elementos, debiendo tomarse como referencia el más abundante para alcanzar mayor precisión; por lo tanto, estos índices son:  $A^{40}/A^{36}$ ,  $Ca^{40}/Ca^{44}$ ,  $Sr^{87}/Sr^{88}$ ,  $Sn^{115}/Sn^{118}$ ,  $Ba^{138}/Ba^{137}$ ,  $Ce^{140}/Ce^{142}$ ,  $Nd^{143}/Nd^{145}$ ,  $Hf^{176}/Hf^{178}$  y  $Os^{187}/Os^{189}$  y tienen la particularidad de ser aplicables para determinar el momento en que los minerales se independizaron de los elementos radiactivos predecesores de los radiogénicos utilizados para la valoración. Hemos visto que este mismo criterio tiene Wickman y sostiene que la relación  $Sr^{87}/Sr^{86}$ , puede ser muy útil para determinar la edad de los sedimentos marinos y razona que también es adecuada para las calizas y anhidritas.

Esta técnica, salvo en el caso particular del plomo, tiene el inconveniente de la dificultad de descubrir en la mayoría de las muestras las contaminaciones o pérdidas y la imposibilidad de efectuar las correcciones correspondientes.

#### IV. CORRECCIONES E INTERPRETACIÓN DE LAS MEDIDAS DE EDADES

Los valores de las edades, deducidas con las técnicas del capítulo III, son aparentes, y es necesario efectuar determinadas correcciones para obtener las edades reales.

##### IV-1. Correcciones para los métodos generales

Cuando se pretende valorar la edad de una formación, por métodos radiactivos, se debe tener la precaución de que el ejemplar utilizado no contenga ningún isótopo del elemento radiogénico que se emplea para la valoración, o sea, que con ese número ordinal  $Z$  sólo existe el isótopo radiogénico; por esta razón, los mejores resultados para valoración de edades por el método  $Rb^{87} \rightarrow Sr^{87} + \beta^-$ , se obtienen con las lepidolitas, que en general no están contaminadas con estroncio. En este caso es suficiente valorar el número de átomos de la pléyade del rubidio; dentro de éstos tener en cuenta que solamente el 27.2% pertenecen al rubidio 87, que es el cabeza de familia, y valorar los átomos del elemento descendiente, del que sólo debe existir

el isótopo radiogénico que es el estroncio 87 y aplicar la correspondiente fórmula de edades.

Puede ocurrir que el ejemplar esté contaminado con la pléyade del elemento generado; en este caso existirán los estroncios de masas 84, 86, 87 y 88; es preciso deducir qué fracción del  $\text{Sr}^{87}$  procede de la contaminación y cuál se ha generado en el mineral. Se necesita recurrir a un análisis de masas y seleccionar un isótopo que sirva de indicio de contaminación, éste suele ser el isótopo originario que esté en mayor proporción; en el caso actual es el  $\text{Sr}^{88}$ , y por cada 82.74 átomos de  $\text{Sr}^{88}$  que dé el análisis se tienen que deducir 6.96 de los valorados para el isótopo de masa 87, por corresponder a los no generados en la muestra o contaminantes. Esta corrección es fácil de ejecutar, pero en realidad necesita un afinado, ya que en la contaminación, la relación  $\text{Sr}^{88}/\text{Sr}^{87}$  será tanto mayor que la actual cuanto más se aleje de nuestros días el momento en que tuvo lugar.

## IV-2. Corrección para las familias largas

Como consecuencia de las mediciones de edades efectuadas por métodos radiactivos por medio de la valoración de elementos de las familias largas, se puso de relieve una discrepancia aparente en las edades. Indagada la causa de estas diferencias se puso en evidencia la deducción de una edad real y otra aparente y se comprobó que las diferencias entre ambas eran debidas, en algunos casos, a la pérdida de la emanación durante el proceso de desintegración, en otros a la pérdida de uranio y, en otros, a la contaminación por plomo. En este último caso la corrección

se efectúa como se indicó anteriormente (IV-1), utilizando el  $\text{Pb}^{204}$  como índice de contaminación.

Las pérdidas de emanación deben ser mayores cuanto mayor sea la vida del correspondiente átomo gaseoso, por tener más probabilidad para su difusión. Las tres emanaciones radón, torón y actinón tienen un período de 1,825 días, 54.5 segundos y 3.92 segundos, respectivamente; sus pérdidas serán proporcionales a 84,000, 14 y 1; análogamente ocurre con  $\text{Pb}^{206}$ ,  $\text{Pb}^{208}$  y  $\text{Pb}^{207}$  que debían generar, y por consecuencia, los errores en las medidas de edades serán máximas para el caso en que se utilice la relación  $\frac{\text{Pb}^{206}}{\text{U}}$  y mínimas para  $\frac{\text{Pb}^{207}}{\text{AcU}}$ .

Sin ser despreciable la difusión del actinón, la verdadera edad se obtendría por la fórmula

$$t_3 = f_3 \frac{\text{Pb}^{207}}{\text{AcU}} \quad (\text{IV-1})$$

con esta suposición, es posible establecer un criterio para deducir la pérdida por emanación, así como la edad corregida de esta causa de error.

Al denominar  $t_1$  y  $t_2$  las edades por el  $\text{Pb}^{206}$  y por el  $\frac{\text{Pb}^{207}}{\text{Pb}^{206}}$  se pueden escribir las siguientes ecuaciones:

$$t_1 = f_1 \frac{\text{Pb}^{206}}{\text{U}} \quad (\text{IV-2})$$

$$t_2 = f_2 \frac{\text{Pb}^{207}}{\text{Pb}^{206}} \quad (\text{IV-3})$$

Si las diferencias de edades fueran debidas sólo a la

pérdida de emanación y dentro de ésta a la del radón, que se representa por  $x$ , la edad verdadera  $t = t_3$  debe ser

$$\begin{aligned} t &= f_1 \frac{\text{Pb}^{206} + x}{\text{U}} = f_2 \frac{\text{Pb}^{207}}{\text{Pb}^{206} + x} = \\ &= f_3 \frac{\text{Pb}^{207}}{\text{AcU}} \end{aligned} \quad (\text{IV-4})$$

De esta manera se logran deducir  $x$  y  $t$ , así como comprobar el valor de esta medida de tiempo.

Los primeros estudios sobre este particular los hizo Wickman (177) en unas muestras del kolm de Gullhögen, en Suecia, que dieron una edad por  $\text{Pb}^{206}/\text{U}_1$  de 388 m. a., por la relación  $\text{Pb}^{207}/\text{Pb}^{206}$  de 770 m. a. y la deducida con la corrección por pérdida de emanación fué 422 m. a., que corresponde a una pérdida de  $\text{Pb}^{206}$  por difusión del radón del 16 %. Aceptada la pérdida de emanación se puede establecer el concepto de «poder de emanación» de una formación  $\text{Pe}$ , que es la relación entre los números de átomos de emanación que se desprenden o difunden por la superficie y los formados. Si se denomina  $K$  el coeficiente de permeabilidad característico de cada terreno,  $R_n'(e)$  la variación o pérdida de emanación por la superficie con respecto al espesor correspondiente,  $R_a$  y  $\lambda_{R_a}$  el número de átomos de  $R_a$  en la unidad de volumen y su probabilidad de transformación,  $V$  el volumen y  $S$  la superficie libre, se puede formular de la siguiente manera la pérdida de emanación:

$$\text{Pe} = -K \frac{R_n'(e) \times S}{\lambda_{R_a} \times R_a \times V} \quad (\text{IV-5})$$

Cuando existe pérdida de emanación y, como conse-

cuencia, de plomo radiogénico, en el caso de que se opere por las relaciones  $\text{Pb}/\text{U}$ , las edades obtenidas son menores que las reales, por haberse producido menos plomo aparente a partir de la misma cantidad de uranio, lo que requiere menor tiempo, en este caso

$$t_2 > t > t_3 > t_1 \quad (\text{IV-6})$$

de estos valores el más probable como edad, según se había indicado, es el  $t_3$ . En la fig. IV-1 se representan las variaciones de la edad aparente por las relaciones  $\frac{\text{Pb}^{206}}{\text{U}}$ ,  $\frac{\text{Pb}^{207}}{\text{Pb}^{206}}$  y  $\frac{\text{Pb}^{207}}{\text{AcU}}$  en función de la pérdida de  $R_n$  de 0 a 30 %, para una muestra de 1,000 m. a.

Otra de las causas de error es la pérdida en uranio; las edades deducidas con este otro método del plomo son erróneas y los valores obtenidos por lo general superiores a los reales, por haberse formado aparentemente la misma cantidad de plomo a partir de menos uranio, lo que requiere más tiempos. En esta circunstancia se tiene

$$t_1 > t_3 > t_2 \gg t \quad (\text{IV-7})$$

En la fig. IV-2 se representan las variaciones de la edad aparente, para pérdidas de  $U$  de 30 % en un mineral de 1,000 m. a. en función del momento en que se liberó, pues éste influye considerablemente, como se ve en la gráfica.

El tercer caso que se puede presentar es la pérdida de plomo radiogénico; desde luego, por haberse formado aparentemente menos plomo que el debido, las edades por las relaciones plomo/uranio son menores que las debidas,

pero como al efectuarse la pérdida fué proporcionalmente análoga para todos los plomos formados, si ésta no fué muy lejana del momento actual, la relación de los plomos 206 y 207 dará la verdadera edad (fig. IV-2), pero en caso contrario existiría un exceso de  $Pb^{206}$  respecto al  $Pb^{207}$ , lo que dará una edad por defecto; por lo tanto

$$t \geq t_1 > t_3 > t_2 \quad (IV-8)$$

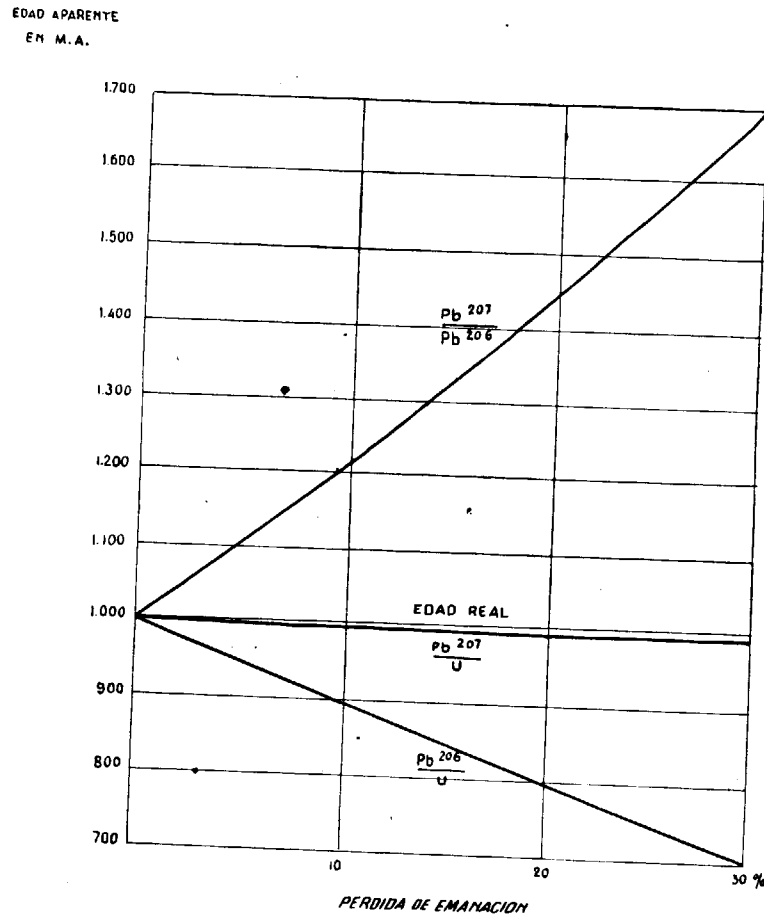


Fig. IV-1.—Edad aparente de una muestra de 1,000 m. a. para pérdidas de emanación de 0 a 30 %.

En la fig. IV-3 se dan las variaciones de la edad aparente para pérdida de plomo del 30 % en un mineral de 1,000 m. a. según el momento en que se perdió.

Por estas gráficas se ve que la pérdida de emanación no tiene influencia en el valor de la edad, si fué en el momento inicial. Los de uranio/plomo tampoco tienen influencia si tuvieron lugar en el momento inicial. Su influencia sobre el valor de la edad es nulo si ocurrió recientemente.

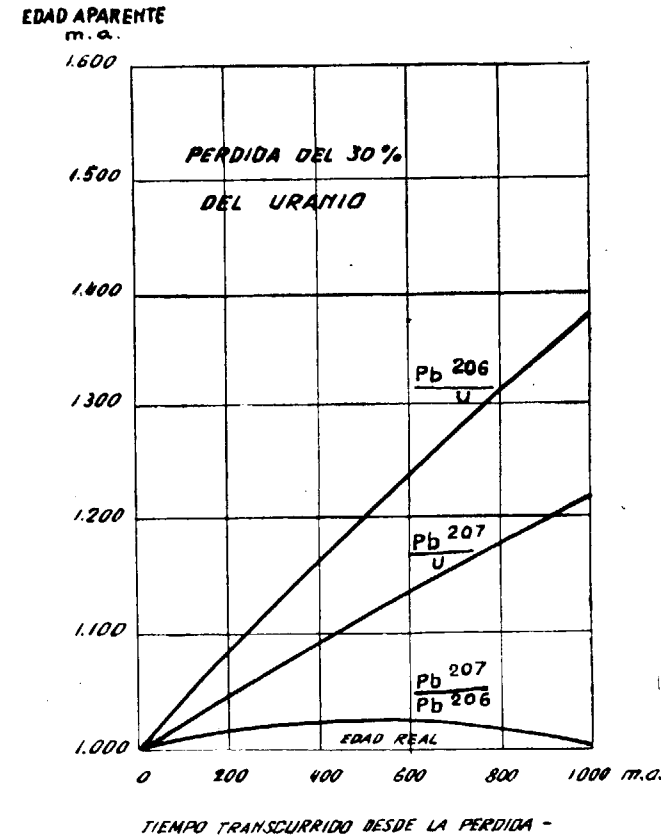


Fig. IV-2.—Edad aparente de una muestra de 1,000 m. a. con pérdida de 30 % de uranio, según el momento en que ocurrió.



Hemos construido unas gráficas para valorar los años teniendo en cuenta la pérdida de emanación; los valores de éstas están tomados en abscisas y varían de 0 a 30 %. Con estas gráficas (figs. IV-4, IV-5) se resuelven rápidamente los dos problemas que se pueden presentar, que son las valoraciones en años y la determinación de las pérdidas de emanación para edades comprendidas de 10 a 2,600 m. a.

Si la muestra contiene uranio y torio existe una relación más para la comprobación, y es la correspondiente a

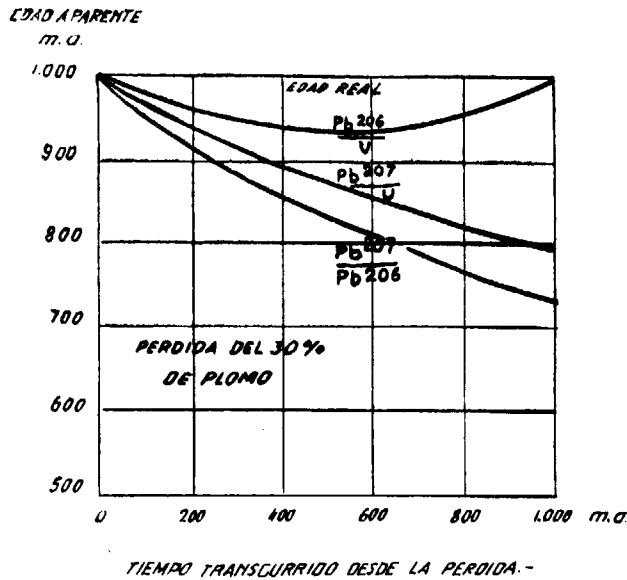


Fig. IV-3.—Edad aparente de una muestra de 1,000 m. a. con pérdida del 30 % de plomo, según el momento en que ocurrió.

Pb<sup>208</sup>/Th; con ella se puede poner en evidencia si ha existido pérdida de torio y en qué momento tuvo lugar.

Cuando solamente existe la familia del torio es difícil comprobar la pérdida de este elemento, así como la del

plomo o la contaminación con un Pb<sup>208</sup>, a no ser que den valores para la edad diferentes a los que pueden corresponder a la situación geológica de la muestra. Por este motivo, en la mayor parte de los minerales de torio, exentos de uranio, queda la duda de si el valor deducido para *t* es superior por una pérdida de torio o inferior por una de plomo. Las contaminaciones de plomo son fáciles de descubrir y corregir, pues deben ser originadas por los plomos de masas 204, 206, 207 y 208.

Como guía de los cálculos se incluyen dos ejemplos hipotéticos de una uraninita y de una monacita.

Se trata de una uraninita, que en sus caras exteriores tiene señales de agrietamientos internos, así como un ligero ataque superficial. El análisis químico de la muestra dió Pb-9.84 %, U-50 %, Th-10 %; en un primer tanteo de la edad se tiene  $\frac{U}{U + Th} = 0.833$ ,  $\frac{Pb}{U + Th} = 1.64 \times 10^{-1}$  que corresponde, por la gráfica de la fig. III-1, a una edad aparente de 1,200 m. a.

Al mismo tiempo se efectuó el análisis isotópico del plomo del mineral donde se vió la existencia de Pb<sup>204</sup>, o sea que al formarse el mineral hubo contaminación con plomo común de aquel entonces, que tenía por composición: Pb<sup>204</sup>-1.0, Pb<sup>206</sup>-16.4, Pb<sup>207</sup>-15.1 y Pb<sup>208</sup>-36.1, según se explica en el subcapítulo V-2.

	Pb <sup>204</sup>	Pb <sup>206</sup>	Pb <sup>207</sup>	Pb <sup>208</sup>	Total
Plomo del mineral deducido por análisis isotópico .....	0.05	6.28	1.77	2.34	9.84
Plomo contaminante calculado ...	0.05	0.91	0.66	1.89	3.51
Plomo generado en la muestra ...	>	5.37	0.51	0.45	6.33

Las edades por los diversos índices son  $\frac{Pb^{207}}{Pb^{206}} = 9.5 \times 10^{-2} \rightarrow 1,540$  m. a.,  $\frac{Pb^{207}}{U} = 1,07 \times 10^{-2} \rightarrow 995$  m. a. y  $\frac{Pb^{208}}{Th} = 4.5 \times 10^{-2} \rightarrow 990$  m. a. En estas edades se observa coincidencia con las edades de la familia del actinouranio y del torio, mientras que la  $\frac{Pb^{207}}{Pb^{206}}$  da un valor superior a éste, y la  $\frac{Pb^{206}}{U}$  lo da inferior, caso clásico según la fig. IV-1 de una pérdida de  $Pb^{206}$  por difusión del radón. Se ve en nuestras gráficas de valoraciones por pérdidas de radón, que fué necesario el desprendimiento de 24.5 % de Rn para que correspondan a una edad de 1,000 m. a. los anteriores valores de las relaciones  $\frac{Pb^{207}}{Pb^{206}}$ ,  $\frac{Pb^{208}}{U}$  quedando confirmada la mencionada pérdida por ser coincidente.

Como conclusión se puede decir que la uraninita estudiada tiene una edad de 1,000 m. a.; al formarse tuvo una importante contaminación del plomo común de aquella época, del orden de 3.51 % de la masa actual del ejemplar. A través de los tiempos geológicos experimentó una pérdida de plomo radiogénico por difusión de la emanación del orden de 24.5 % de la masa actual del plomo radiogénico del mineral, que equivale a 1.75 % de la masa total. La composición actual teórica, deducida para el mineral, debía ser proporcional a la siguiente:

$Pb^{204}$	$Pb^{206}$	$Pb^{207}$	$Pb^{208}$	Pb	U	Th
»	7.12	0.51	0.45	8.58	50	20

El segundo ejemplar hipotético es una arena monácica, mineral que por lo general es mal indicador de edad,

en especial si se trata de arenas como las de nuestras playas gallegas. El uranio que pueden contener durante muchos millones de años se ha perdido en parte como consecuencia del continuo rastreo reciente por el mar, y quizá se perdiese algo de torio.

El supuesto análisis químico dió la composición siguiente: Pb-1.12 %, U-2 %, Th-2 %; la edad aparente por las relaciones  $\frac{Pb}{U + Th} = 5.1 \times 10^{-2}$ ,  $\frac{U}{U + Th} = 0.91$  es 940 m. a. Al tener en cuenta la composición isotópica del plomo de la muestra y efectuar la corrección por contaminación de plomo común de hace 1,000 m. a. se deduce:

	$Pb^{204}$	$Pb^{206}$	$Pb^{207}$	$Pb^{208}$	Total
Plomo del mineral .....	0.001	0.12	0.05	0.95	1.12
Plomo contaminante.....	0.001	0.02	0.02	0.04	0.08
Plomo generado en la muestra ...		0.10	0.03	0.91	1.04

Las edades por los diversos índices son  $\frac{Pb^{207}}{Pb^{206}} = 3 \times 10^{-1} \rightarrow 3,500$  m. a.,  $\frac{Pb^{206}}{U} = 5 \times 10^{-2} \rightarrow 191$  m. a.  $\frac{Pb^{207}}{U} = 1.5 \times 10^{-2} \rightarrow 1,258$  m. a. y  $\frac{Pb^{208}}{Th} = 4.55 \times 10^{-2} \rightarrow 1,000$  m. a. En estos valores aparentes de edad se aprecia una concordancia buena entre los dos últimos y una diferencia grande con los dos primeros, y si además se observa el orden de sucesión, se ve la posibilidad de una doble pérdida, de  $Pb^{206}$  y de uranio. Al dar por buena la edad de 1,000 m. a., debe corresponder a la relación  $\frac{Pb^{207}}{Pb^{206}}$  el valor  $7.22 \times 10^{-2}$  que representa un  $Pb^{206}$

de 0.41 % con una pérdida de plomo de 0.31 % de la masa total de la muestra. En este caso, después de efectuada la corrección del  $Pb^{206}$ , se obtiene  $\frac{Pb^{207}}{Pb^{206}} = 0.73 \times 10^{-1} \rightarrow$

1,025 m. a. y  $\frac{Pb^{206}}{U} = 2.0 \times 10^{-1} \rightarrow 1,350$  m. a. donde se

ve por la fig. IV-2, que hubo recientemente una pérdida de uranio, que calculada es de 0.87 % de la masa de la muestra, equivalente al 45 % de su actual contenido en uranio.

Como conclusión se llega, a que la muestra de monacita tuvo al formarse una contaminación de plomo común del orden de 0.26 % de la masa actual del ejemplar. A través de los tiempos geológicos, perdió 0.31 % del radón que produjo, que equivale a 39 % del plomo radiogénico que hoy contiene la muestra, y en los últimos tiempos tuvo una pérdida de uranio del 45 % de su actual contenido. La composición teórica de este momento debía ser, en la actualidad, proporcional a la siguiente:

$Pb^{204}$	$Pb^{206}$	$Pb^{207}$	$Pb^{208}$	Pb	U	Th
»	0.41	0.03	0.91	1.35	2.87	20

### IV-3. La pérdida de emanación, el espesor de las formaciones y el tamaño de los minerales

Las primeras orientaciones matemáticas, para poder relacionar la pérdida de emanación, con el espesor de las formaciones radiactivas, e incluso con el tamaño de los minerales radiactivos, se le deben a Wickman (177). Este investigador, tuvo la habilidad de utilizar una causa de error en las medidas de edades de las forma-

ciones porosas o fisuradas, en una aplicación de importancia muy grande desde el punto de vista estratigráfico o cristalino.

Se puede considerar en este caso un terreno ideal, que para su estudio se desprecian las variaciones de la absorción de emanación, la influencia de la temperatura y los fenómenos de arrastre por el helio originado en la emisión alfa, por suponer que se compensan.

Sólo se considerarán los dos ejemplos más sencillos, que al mismo tiempo son los que tienen más aplicación en prácticas; uno, el de las grandes extensiones sedimentarias de espesores pequeños con mineralización de uranio, como las del Kolm, de Suecia, y otros, el de minerales pequeños de uranio, como son las pezblendas, uranitas y torbernititas de Sierra de la Albarrana, de España, que se pueden admitir para el cálculo de la pérdida de emanación como esferas de volumen equivalente a los minerales considerados.

Se debe tener en cuenta, al aplicar las fórmulas generales, dos causas de anomalías; una, la influencia del medio en que está la formación uranífera o los cristales, que si es más porosa habrá gran facilidad para la difusión, pero si es más densa se producirá una acumulación de los elementos derivados de la emanación. La otra circunstancia que también se debe tener en consideración, es la existencia o carencia de fisuras en los minerales y las formaciones, pues estas superficies deben considerarse como límites externos de los cuerpos de los que se calcula el poder de emanación.

Para establecer la fórmula general correspondiente al primer caso de grandes extensiones de terreno, con espesores pequeños, se puede suponer que la única dimensión finita es el espesor del terreno, al admitir está formado por discos de radio muy grande y espesor  $2e$ ; la ecuación uni-

dimensional es análoga a la del caso equivalente en la transmisión del calor.

$$\lambda R_n'' = -\lambda_{Ra} Ra + \lambda_{Rn} R_n \quad (IV-9)$$

Ecuación diferencial de segundo orden con coeficientes constantes. Su solución es:

$$R_n = C_1 \left[ \exp \left( \frac{\lambda_{Rn}}{K} \right)''^2 x \right] + C_2 \left[ \exp - \left( \frac{\lambda_{Rn}}{K} \right)''^2 x \right] + \frac{\lambda_{Ra}}{\lambda_{Rn}} Ra \quad (IV-10)$$

pero la condición de simetría para  $x=0$  es  $R_n' = 0$  que sólo se puede verificar para  $C_1 = C_2 = C/2$

$$R_n = C \operatorname{Ch} \left( \frac{\lambda_{Rn}}{K} \right)''^2 x + \frac{\lambda_{Ra}}{\lambda_{Rn}} Ra \quad (IV-11)$$

Si se denomina  $X$  al valor particular de  $\frac{R_n \lambda_{Rn}}{Ra \lambda_{Ra}}$ , para el valor del espesor  $x=e$  y despeja  $C$  se tiene

$$C = \frac{\lambda_{Rn} \times Ra (1-X)}{\lambda_{Rn} \times \operatorname{Ch} \left( \frac{\lambda_{Rn}}{K} \right)''^2 x} \quad (IV-12)$$

que sustituido con la ecuación anterior da

$$R_n = \frac{\lambda_{Ra}}{\lambda_{Rn}} \times Ra \left[ 1 - (1-X) \frac{\operatorname{Ch} \left( \frac{\lambda_{Rn}}{K} \right)''^2 x}{\operatorname{Sh} \left( \frac{\lambda_{Rn}}{K} \right)''^2 e} \right] \quad (IV-13)$$

la derivada de  $R_n$  con respecto a  $x$  para  $x=e$

$$R_n' e = \frac{\lambda_{Ra}}{\lambda_{Rn}} \times Ra (1-X) \left( \frac{\lambda_{Rn}}{K} \right)''^2 \operatorname{Th} \left( \frac{\lambda_{Rn}}{K} \right)''^2 e \quad (IV-14)$$

sustituída en la fórmula del poder de emanación, en la que  $V = eS$  por ser cada superficie de la formación  $\frac{S}{2}$  y el espesor total  $2e$

$$Pe = -K \frac{R_n' e}{S \times \lambda_{Ra} \times Ra} = (1-X) \frac{\operatorname{Th} \left( \frac{\lambda_{Rn}}{K} \right)''^2 e}{\left( \frac{\lambda_{Rn}}{R} \right)''^2 S} \quad (IV-15)$$

que es la fórmula general.

Al estudiar la variación del poder de emanación con el espesor para  $e=0$ , caso límite de espesor nulo, después de resuelta la indeterminación se tiene

$$Pe(0) = - \frac{-\lambda_{Rn} Ra}{\lambda_{Rn} Ra} = 1 \quad (IV-16)$$

o sea, que el poder de emanación alcanza el valor máximo, que corresponde a la difusión de todo el radón producido. En el caso del límite contrario o de los grandes espesores  $e = \infty$  y se tiene.

$$Pe(\infty) = 0 \quad (IV-17)$$

que como era de esperar no da pérdida por difusión.

Al establecer la fórmula general correspondiente al segundo caso, que es el de minerales pequeños de uranio y

torio, se pueden sustituir con alguna inexactitud los minerales por esferas de radio  $r$ , se formulará la pérdida de emanación en coordenadas polares y de manera que sea independiente de la coordenada angular y sólo dependa de la distancia al centro. La ecuación general es

$$K \left( R_n'' + \frac{2 R_n'}{r} \right) = -\lambda_{Ra} R_a + \lambda_{Rn} R_n \quad (IV-18)$$

En la resolución de esta ecuación se debe tener en cuenta, como en el caso anterior, la condición de simetría para  $+r$  y  $-r$  y el valor particular  $X$  para  $r=e$ . De esta manera se llega a la ecuación

$$Pe = -K \frac{4 \times \pi \times S^2 \times R_n'(e)}{\frac{4}{3} \pi S^3 \times \lambda_{Ra} R_a} = 3(1-X) \times \frac{\frac{\lambda_{Rn}}{K} \operatorname{Ch} \left( \frac{\lambda_{Rn}}{K} \right)^{1/2} e - 1}{\left( \frac{\lambda_{Rn}}{K} \right) S^2} \quad (IV-19)$$

Análogamente al caso de las formaciones sedimentarias con respecto a sus espesores, cuando el radio tiende hacia 0 el poder de emanación tiende a 1 y cuando crece hacia infinito el poder de emanación se reduce a 0.

Construyendo las curvas correspondientes a las fórmulas deducidas para la formación plana indefinida y para la esfera, se ve, que para un espesor o radio nulo el poder de emanación es 1, y va disminuyendo continuamente con el aumento del espesor o de los radios, manteniéndose siempre superiores los valores de pérdida de emanación correspondientes a las esferas que los correspondientes a forma-

ciones de gran extensión para análogas condiciones de los demás valores, siendo asintóticas las dos ramas al eje de los valores de  $c$ . Esto es natural por ser la pérdida un fenómeno  $f \left( \frac{S}{V} \right)$ ; en el caso de formaciones de pequeños espesores y grandes extensiones, sólo hay dos superficies para la pérdida de emanación, mientras que en el de la esfera corresponde mayor superficie para el mismo volumen, el máximo de pérdidas por emanación corresponde al caso de un cristal aislado.

Para aplicar las fórmulas de  $Pe$  a la deducción de espesores y radios, es necesario conocer el coeficiente de permeabilidad  $K$  del terreno correspondiente; se puede deducir experimentalmente por medio de dos cámaras con una pared común, que esté labrada en una roca análoga al terreno considerado. Sea  $e$  el espesor de la pared,  $S$  su superficie,  $p$  la presión y  $V$  el volumen que pasa por unidad de tiempo; la cantidad de gas que pasa es directamente proporcional al coeficiente de permeabilidad, superficie y presión e inversamente al espesor,

$$V = K \frac{S \times p}{e} \quad (IV-20)$$

de donde

$$K = \frac{V \times e}{S p} \quad (IV-21)$$

conocido  $K$ , son conocidos todos los valores que en las fórmulas correspondientes a los dos casos considerados relacionan  $Pe$  con  $e$ . Si se conoce la pérdida por emanación, que se puede establecer al conocer las composiciones en

uranio y plomo, se puede deducir teóricamente el espesor de una formación y el tamaño de un cristal y recíprocamente, conociendo estas dimensiones se puede deducir el poder de emanación y caso de conocer este valor, comprobar el valor de la permeabilidad al paso de la emanación por la muestra.

#### IV-4. Interpretaciones de algunas valoraciones isotópicas

En determinadas circunstancias, hay tendencia a la concentración de un isótopo de la pléyade, como se supone con el carbono. Según algunos autores, el  $C^{12}$  se concentra en las plantas, mientras que el  $C^{18}$  lo hace en las calizas, gracias a los importantes estudios de Nier y sus colaboradores sobre la valoración isotópica del carbón; algunos investigadores llegan a asignar una significación que casi permitiría tomar esta concentración como coeficiente de edad. Por las valoraciones isotópicas se aprecia una franca clasificación de los carbonos terrestres en dos grupos: carbonos de origen orgánico e inorgánico; para los primeros, la relación  $C^{12}/C^{18}$  es mayor que para los segundos. Como consecuencia de este razonamiento, pudo Rankama (149 y 150) considerar el *Corcyum enigmaticum*, como un fósil de los más remotos tiempos paleozoicos, y llegar a la conclusión de ser de origen orgánico, los grafitos por él estudiados, que aparecen interestratificados en los sedimentos metamórficos precambrianos.

## V. LAS VALORACIONES ISOTÓPICAS DE LOS PLOMOS COMUNES

La determinación de las composiciones isotópicas de los plomos comunes, permite llegar a conclusiones geofísicas y geoquímicas sumamente interesantes, con el estudio acertado de sus valores.

### V-1. Valoraciones isotópicas

Para desarrollar el tema de este capítulo, por no disponer de espectrógrafo de masas y necesitar composiciones isotópicas de plomos comunes con diversidad de edades y procedencias, se han seleccionado valores que fuesen de la máxima garantía, como son los 25 reseñados en el cuadro de la pág. 171, que corresponden a las valoraciones efectuadas por Nier (137). Las muestras tienen una edad que oscila de 25 m. a., como ocurre con varias del terciario, que son las más jóvenes estudiadas, hasta 1,330 m. a., que corresponden a una galena precambriana del «Great Bear Lake», de Canadá.

En el cuadro se consignan: número de la muestra, especie mineralógica, procedencia, época geológica de la

formación del mineral, edad en años y composición isotópica, para la que se considera el contenido en  $Pb_{204} = 1$ . De las muestras 8 y 14 hizo Nier cuatro determinaciones, de la 10, 13, 16 y 17, dos, y una de cada una de las restantes.

## V-2. Variaciones en la composición isotópica de los plomos comunes

Por las valoraciones isotópicas, efectuadas por Nier, de plomos comunes de diferentes edades, se aprecia una continua variación de la composición isotópica, a través de los diversos millones de años a que corresponden sus distintas formaciones. Esta variación es un fenómeno natural, por ser debida a la adición al plomo que existió en el momento de formarse la corteza o aborigen, los radiogénicos producidos desde dicho momento a cuando se formó el mineral, aportación tanto mayor cuanto más tiempo transcurrió. A los plomos comunes, exentos de contaminación, cuanto más jóvenes les corresponden para la misma cantidad de  $Pb_{204}$ , valores superiores para  $Pb_{206}$ ,  $Pb_{207}$  y  $Pb_{208}$ , por haber coexistido durante más tiempo con los dos uranios y el torio cabezas de familia.

La variación en la composición isotópica de los plomos, fué rápida en las primeras centenas de millones de años inmediatos a la formación del torio y del uranio y lenta desde la formación de la corteza, por disminuir considerablemente con el transcurso del tiempo el número de átomos de los elementos cabeza de familias radiactivas, disminución más acentuada para el  $AcU$  por ser el de probabilidad de transformación más elevada.

Composición isotópica de plomos comunes

Núm.	Especie	Procedencia	Época geológica	Edad. m. a.	$Pb^{206}$	$Pb^{207}$	$Pb^{208}$
1	Galena	Great Bear Lake Canadá	Pre-Cambriano	1,330	15.93	15.30	35.3
2	Galena	Broken Hills N. S. Wales	Pre-Cambriano	1,200	16.07	15.40	35.5
3	Cerusita	Broken Hills N. S. Wales	Pre-Cambriano	1,200	15.93	15.29	35.25
4	Galena	Yancey Co. N. Carolina	Carbonífero superior	220	18.43	15.61	38.2
5	Galena	Nasasu	Carbonífero Sup. Perm. Inf.	220	18.10	15.57	37.85
6	Galena	Eiffel	Carbonífero Perm.	220	28.20	15.46	37.7
7	Galena I	Joplin Missouri	Cretáceo medio Sup.	100	21.65	15.88	40.8
8	Galena II	Joplin	Cretáceo medio Sup.	100	11.65	15.64	40.36
9	Galena	Metalina Falls Washington	Laurentino	60	19.30	15.73	39.5
10	Cerusita	Wallace Idaho	Laurentino	60	16.04	15.11	35.26
11	Wulfenita	Tucson Mts. Arizona	Mioceno	25	18.40	15.53	38.1
12	Galena	Sajonia	Carb. Permiano	220	17.36	15.46	37.38
13	Galena	Iviglut	Pre-Cambriano Sup.	600	14.65	14.65	34.48
14	Galena III	Joplin	Cretáceo medio Sup.	100	22.38	16.15	41.63
15	Galena	Mina Tetreaul Quebec-Canadá	Pre-Cambriano	800	16.27	15.16	35.60
16	Burnonita	Mina Casapalca Perú	Terciario Sup.	25	18.67	15.45	38.15
17	Galena	Mina Casapalca Perú	Terciario Sup.	25	18.85	15.66	38.63
18	Galena	Clausthal Harz	Carbonífero Perm.	220	18.46	15.66	38.6
19	Galena	Franklin New Jersey	Carbonífero Perm.	220	17.95	15.57	37.9
20	Galena	Durange-México	Pre-Cambriano	220	17.15	15.45	36.53
21	Galena	Langban Suecia	Terciario	25	18.71	15.70	38.5
22	Plomo nativo	Austria	Pre-Cambriano	175	15.83	15.45	35.60
23	Galena	Freiberg-Sajonia	Triásico	25	17.75	16.21	38.05
24	Galena	Mina Sonora Arizona	Terciario	25	18.07	15.40	38.0
25	Galena	Mina Sonora Arizona	Terciario	25	19.22	16.17	39.15

Se puede considerar aproximadamente lineal la variación en composición isotópica del plomo desde que se individualizó el plomo aborigen ( $x_0, y_0, z_0$ ) hasta la formación del plomo actual ( $x_{0+T}, y_{0+T}, z_{0+T}$ ).

Para considerar el problema en dos dimensiones, sólo se hace referencia a los plomos 206 y 207. Si se supone que transcurrieron 3,300 m. a. desde la formación del sial hasta nuestros días, se pueden formular las siguientes ecuaciones, que dan el plomo producido durante estos últimos  $3,300 \times 10^6$  años

$$x_{0+T} - x_0 = U_{0+T} [\exp(\lambda_{UI} \times 3300 \times 10^6) - 1] \quad (V-1)$$

$$y_{0+T} - y_0 = AcU_0 + T [\exp(\lambda_{AcU} \times 3300 \times 10^6) - 1] \quad (V-2)$$

al dividir las, se obtiene el coeficiente angular de la ecuación de la recta, que representa la variación del contenido en plomo 206 y 207, en la que se tiene en cuenta la relación actual de los uranios

$$\frac{U_{0+T}}{AcU_{0+T}} = 139,$$

$$\frac{x_{0+T} - x_0}{y_{0+T} - y_0} = 139 \frac{\exp(\lambda_{UI} \times 3300 \times 10^6) - 1}{\exp(\lambda_{AcU} \times 3300 \times 10^6) - 1} = 3.7 \quad (V-3)$$

Para establecer la ecuación que da la composición isotópica de los plomos en cualquier momento, se necesitan conocer, además del coeficiente angular dado por la V-3, los valores particulares de uno de ellos ( $a, b$ ); la fórmula general es

$$x - a = 3.7 (y - b) \quad (V-4)$$

$$x = 3.7 y - (3.7 b - a) \quad (V-5)$$

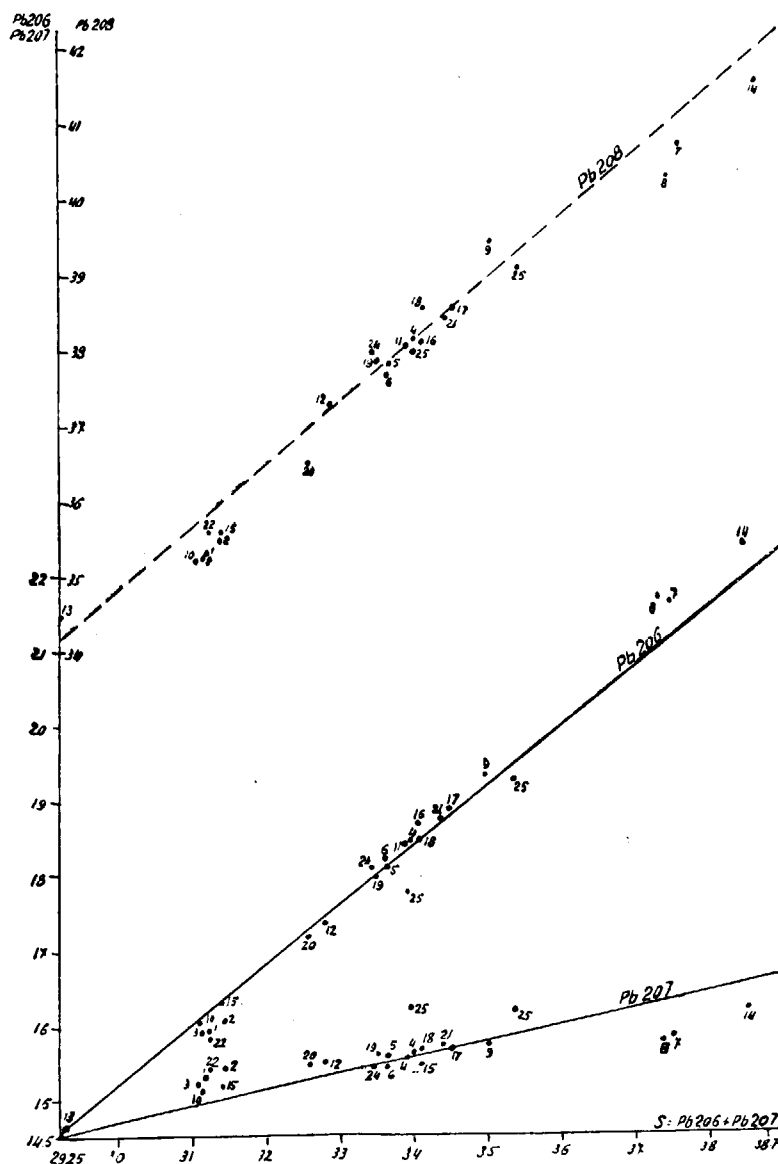


Fig. V-1.—Variación de los Pb206, Pb207 y Pb208 en función de los Pb206 + Pb207.



para más claridad, se suelen relacionar las concentraciones de los plomos  $x$  e  $y$  con la suma  $S = x + y$ , de donde se obtienen las ecuaciones

$$S - 4.7 y + (3.7 b - a) = 0 \quad (\text{V-6})$$

$$3.7 S - 4.7 x - (3.7 b - a) = 0 \quad (\text{V-7})$$

Con estas ecuaciones se puede ver qué valoraciones se separan de las rectas indicadas, correspondientes, probablemente, a muestras de plomos comunes de formación anormal.

En la gráfica adjunta (fig. V-1) se representan los valores de Pb206, Pb207 y Pb208 en ordenadas y los S en abscisas. Los valores de cada plomo para diferentes edades corresponden sensiblemente a una recta, salvo raras excepciones, como ocurre con las muestras 23 y 25, con un acentuado exceso de Pb207, y el grupo 7, 8 y 14, con un exceso de Pb206, por alguna contaminación.

Las ecuaciones aproximadas de estas dos rectas

$$S - 4.7 + 39.5 = 0 \quad (\text{V-8})$$

$$3.7 S - 4.7 x - 39.5 = 0 \quad (\text{V-9})$$

se obtienen al sustituir  $a$  y  $b$  por valores que pueden ser los correspondientes al plomo aborigen  $a = 11.22$  y  $b = 13.71$ , deducidos en el subcapítulo V-3.

Estas rectas sirven únicamente como norma para eliminar las muestras en que no merezcan absoluta garantía su composición isotópica, o como índice de composición para un plomo de una edad determinada.

### V-3. Composición isotópica de los plomos aborigen y actual y diferencia en tiempo de su formación

La determinación de la composición isotópica del plomo aborigen la efectuó Holmes (63) de una manera muy elegante, así como la valoración del tiempo transcurrido desde su formación hasta nuestros días.

Considera dicho investigador una muestra de plomo común de edad  $t_m$  y composición isotópica  $1 - a - b - c$  y el plomo aborigen de edad  $T$  y composición  $1 - x - y - z$ , la diferencia de composición corresponde únicamente al plomo radiogénico formado de  $T$  a  $t_m$ , que se acumuló durante este tiempo al aborigen.

*Variación de la composición isotópica de los plomos con la edad.*

Clases de plomos	Pb <sup>204</sup>	Pb <sup>206</sup>	Pb <sup>207</sup>	Pb <sup>208</sup>	Edad
Plomo común ....	1	$a$	$b$	$c$	$t_m$
Plomo aborigen ..	1	$x$	$y$	$z$	$T$
Plomo radiogénico	0	$a - x$	$b - y$	$c - z$	$T - t_m$

Para estas muestras de plomo común y aborigen se establecen las diferencias entre dos ecuaciones (I-5) correspondientes a cada uno de los isótopos Pb206 y Pb207,

$$b - y = \text{AcU}_{0+T} (\exp (\lambda_{\text{AcU}} \times T) - \exp (\lambda_{\text{AcU}} \times t_m)) \quad (\text{V-10})$$

$$a - x = UI_{0+T} (\exp(\lambda_{UI} \times T) - \exp(\lambda_{UI} \times t_m)) \quad (V-11)$$

su cociente da

$$\frac{b - y}{a - x} = r = \frac{19}{139} \times \frac{\exp(\lambda_{AcU} \times T) - \exp(\lambda_{AcU} \times t_m)}{\exp(\lambda_{UI} \times T) - \exp(\lambda_{AcU} \times t_m)} \quad (V-12)$$

Para otra muestra de plomo de composición I - a' - b' - c' y edad t\_m' se puede escribir análogamente

$$\frac{b' - y'}{a' - x'} = r' = \frac{19}{139} \times \frac{\exp(\lambda_{AcU} \times T) - \exp(\lambda_{AcU} \times t_m')}{\exp(\lambda_{UI} \times T) - \exp(\lambda_{UI} \times t_m')} \quad (V-13)$$

En cada grupo de las dos ecuaciones (V-12 y V-13) hay tres incógnitas, que son x, y, T, por lo que es conveniente establecer las ecuaciones de x e y en función de r y r'

$$x = \frac{b - b' + a' r' - a r}{r' - r} \quad (V-14)$$

$$y = \frac{b r' - b' r + r r' (a - a')}{r' - r} \quad (V-15)$$

y como r y r' son funciones de T, se tiene en realidad

$$x = f_x(T), \quad y = f_y(T), \quad z = f_z(T) \quad (V-16)$$

Construye Holmes (67) cada una de estas tres curvas de ecuación (V-16) para parejas de composiciones isotópi-

cas de las 25 muestras de Nier, con la precaución de que cada pareja corresponda a diferencias considerables entre t\_m y t\_m'; la zona de máximas intersecciones corresponde a los valores buscados de x, y, z y T. Los valores admitidos, resultado de 1,257 soluciones, son

$$x = 11.22, \quad y = 13.71, \quad z = 31.82, \quad T = 3,330 \text{ m. a.}$$

que representan la composición isotópica del plomo aborigen, así como los años que hace que se inició la formación, de la corteza terrestre. Estos valores son bastante parecidos a los deducidos por Houtermans (71)

$$x = 11.52, \quad y = 14.03, \quad z = 31.59, \quad T = 2,900 \text{ m. a.}$$

y a los establecidos poco después por Bullard y Stanley (28), x = 11.86, y = 13.70, T = 3,290 m. a., sensiblemente concordantes con los de Gerling (48) y los nuestros (110). A estos valores les hace Jeffreys (78) una observación que se debe tener en cuenta; se trata de que el número de muestras estudiadas por Holmes para deducir la edad es pequeño. Si se descartan las dos muestras precambrianas, números 20 y 22, y consideran como una sola las tres de Joplin, números 7, 8 y 14, con una composición isotópica media Pb<sup>206</sup>-21.89; Pb<sup>207</sup>-15.92 y Pb<sup>208</sup>-40.93 se encuentra con que la edad y la composición del plomo aborigen se determina a base de tres muestras de 1,250 m. a., dos de 700 m. a., siete de 200 m. a., y nueve de 40 m. a., número insuficiente y poco variado, lo que le ha permitido a Jeffreys (78) encontrar soluciones que varían de 1,250 a 4,000 m. a., según cómo selecciona los datos.

Es conveniente, a base de valoraciones isotópicas en mayor número de muestras y de edades variadas, repetir los cálculos de Holmes (67); no obstante, consideramos no existe inconveniente en admitir momentáneamente los 3,300 m. a., como tiempo transcurrido desde la formación del sial hasta nuestros días.

Para determinar la composición exacta del plomo actual, es necesario recurrir a uno de edad conocida y añadir la cantidad de plomo radiogénico en que se hubiera enriquecido, si hoy se hubiese individualizado como mineral. Entre las galenas más modernas que figuran en el cuadro de Nier, existen dos recientes de edad análoga 25 m. a. y composición parecida, que son la 17 de Perú con  $Pb^{206}$ -18.85;  $Pb^{207}$ -15.66 y  $Pb^{208}$ -38.63 y la de 21 de México con  $Pb^{206}$ -18.17;  $Pb^{207}$ -15.70 y  $Pb^{208}$ -38.50; se puede adoptar como composición media para una galena de esta edad  $Pb^{206}$ -18.78;  $Pb^{207}$ -15.68 y  $Pb^{208}$ -38.57.

El número en que se debe incrementar la fracción actual de cada isótopo correspondiente a la aportación radiogénica de los últimos 25 m. a. se puede establecer de la siguiente manera: durante los 3,300 m. a. transcurridos desde la formación de la corteza terrestre a la de esas galenas se produjo para cada uno de los plomos las siguientes cantidades:  $Pb^{206}$ -7.56;  $Pb^{207}$ -1.97 y  $Pb^{208}$ -6.75, diferencia entre los valores isotópicos deducidos por Holmes para el plomo aborigen y la composición media de las muestras 17 y 21 de Nier.

El número  $m$  de átomos de plomo producidos desde que se formó el plomo aborigen hasta la formación de la muestra estudiada, según la fórmula I-6 es

$$m = n_{25} \times [\exp(\lambda_n \times 3300 \times 10^6) - 1]$$

y el  $m'$  desde esta fecha hasta hoy, está dado para cada familia, de acuerdo con la fórmula, por

$$m' = n_{25} [1 - \exp(-\lambda_n \times 25 \times 10^6)]$$

al dividir ambas fórmulas miembro a miembro se obtiene

$$\frac{m}{m'} = \frac{\exp(\lambda_n \times 3300 \times 10^6) - 1}{1 - \exp(-\lambda_n \times 25 \times 10^6)} \approx \frac{\exp(\lambda_n \times 3300 \times 10^6) - \exp(\lambda_n \times 25 \times 10^6)}{\exp(\lambda_n \times 25 \times 10^6) - 1} \quad (V-17)$$

En las ecuaciones que se establecen para cada familia,  $m'$  representa los valores que interesa deducir; efectuadas las operaciones para cada uno de los tres plomos se obtiene

$$Pb^{206} = 0.04; Pb^{207} = 0.01 \text{ y } Pb^{208} = 0.04$$

cifras del orden de los errores de los métodos.

#### Variación de la composición isotópica de los plomos

CLASES DE PLOMOS	Pb <sup>204</sup>	Pb <sup>206</sup>	Pb <sup>207</sup>	Pb <sup>208</sup>	Edad en m. a.
Plomo aborigen . . . . .	1	11.22	13.71	31.82	3,330
Plomo terciario. . . . .	1	18.78	15.68	38.57	25
Aportación radiogénica posterior al aborigen . . . . .	0	7.56	1.97	6.75	3,305
Aportación radiogénica posterior al terciario. . . . .	0	0.04	0.01	0.04	25
Plomo actual . . . . .	1	18.82	15.69	38.61	,
Plomo actual más probable . . . . .	1	18.77	15.75	38.60	,

En el cuadro se da la composición del plomo actual, a partir del terciario, añadida en estas aportaciones, la cual aparece rectificada a continuación como más probable, para que sus valores con respecto a la suma  $Pb^{206} + Pb^{207}$  se ajusten a las rectas indicadas en el capítulo anterior. No obstante, vistas las pequeñas diferencias entre el plomo actual y los terciarios, se pueden considerar éstos como actuales a los efectos de composición isotópica, por ser los errores de las valoraciones isotópicas superiores a las mencionadas diferencias.

## **VI. LIMITACIÓN A LOS MOMENTOS DE FORMACIÓN DE LOS NÚCLEOS DE LOS ELEMENTOS**

En las hipótesis y cálculos que hemos desarrollado para fijar la fecha de formación de los núcleos de los elementos, se ha seguido el criterio de situar dos límites extremos; uno, que da la fecha más probable o al menos el límite más lejano a nuestros días, el otro, que establece el tope máximo del límite más cercano que permiten los razonamientos radiactivos. La formación de los elementos, que pudo ser rapidísima a partir de estos núcleos, o sea la captura de su cortejo electrónico, es posterior y coincide aproximadamente con lo que hemos denominado ordenación del caos nuclear.

### **VI-I. Fijación del mínimo del límite de los elementos**

En el proceso cronológico de formación de los núcleos de los elementos dispone el geofísico de un medio para fijar su fecha más lejana. Éste se basa en la hipótesis de

que todos los átomos con características iguales a los elementos finales de familias radiactivas son radiogénicos.

Se toman como composiciones isotópicas y valores de  $T$  los que figuran en la tabla de Mattauch (128), y para el caso del uranio y torio los valores deducidos anteriormente (113).

El punto fundamental para hacer esta valoración consiste en la fijación de la relación en que se encuentran actualmente los diversos elementos cabeza y fin de familia. Las valoraciones de Washington y Rösch (173) dan un contenido en  $10^{48}$  átomos para el potasio y calcio de 0.1253 y 2.114 respectivamente. Al aplicar a estas concentraciones las correspondientes proporciones isotópicas y el período que figuran en el cuadro, se llega a la conclusión de que fué necesario un transcurso del orden de  $1.9 \times 10^4$  m. a. para que todo el  $\text{Ca}^{40}$  fuese radiogénico, la formación del potasio no puede distar de nuestros días más de este lapso de tiempo. Al tener en cuenta los valores dados por Brown (23) para el  $\text{K}^{40}$  y  $\text{Ca}^{40}$  de 0.0076 y 650 se deducen  $1.95 \times 10^4$  m. a. para el tiempo transcurrido desde la formación del  $\text{K}^{40}$ , valor análogo al anterior.

En el caso del potasio se tiene otro medio para determinar este límite máximo, que es, recurriendo a la captura de electrones orbitales por el núcleo de  $\text{K}^{40}$  que da lugar al  $\text{A}^{40}$ , componente actualmente en la proporción de 99.57 % en la pléyade de argón. Para esta valoración se presentan tres dificultades: La diferencia tan grande en los valores de  $\lambda_e$  del  $\text{K}^{40}$  que varían de  $1.91 \times 10^{-9}$  a., a  $0.36 \times 10^{-9}$  a. La segunda dificultad, estriba en ¿qué ocurrió con el  $\text{A}^{40}$  que se formó a partir del  $\text{K}^{40}$  antes de la individualización de nuestro planeta? Y por último, la falta de precisión en la medida de los espesores desnudados hasta nuestros días, así como la permeabilidad de la corte-

- za para el argón. Por estas razones prescindimos de momento de esta marcha.

Al tener en cuenta los valores resumidos por Wickman (179) para el rubidio y estroncio, que son 310 y 250 gramos por tonelada, se deduce con ellos una edad de  $1.9 \times 10^4$  m. a. para la formación del rubidio, análoga a la correspondiente al potasio.

La fijación del tiempo por evolución del In no la efectuamos por la imprecisión del período de formación de todo el  $\text{Ce}^{138}$  y  $\text{Ba}^{138}$ . A partir del  $\text{La}^{138}$  no la calculamos por no conocerse con suficiente precisión los períodos y relación en que están la captura K y la emisión  $\beta^-$ .

Con la familia samario-neodimio, no es conveniente fijar el tiempo transcurrido para la formación de todos los átomos del neodimio radiogénico, por estar todavía en discusión si el samario radiactivo es de masa 152 o el 147 (175), así como el período de éste, caso que fuese radiactivo.

La familia del lutecio tiene dos medios para fijar el tiempo máximo de formación de este elemento químico, por evolución del lutecio a iterbio o por la del lutecio a hafnio; al seguir la primera, si se aplican las concentraciones de Berg (16) que son lutecio  $9 \times 10^{-7}$  e iterbio  $3.5 \times 10^{-6}$  se obtiene una edad de  $1.7 \times 10^{-4}$  m. a., mientras que si se recurre a los valores de Clark (42), lutecio  $1.7 \times 10^{-5}$  e iterbio  $8 \times 10^{-5}$  la edad deducida es  $1.7 \times 10^4$  m. a. Por el proceso lutecio-hafnio, según los valores de Berg, que asigna al hafnio  $2.5 \times 10^{-5}$ , la edad de la formación del primer elemento es  $0.83 \times 10^4$  m. a.

Al considerar la familia renio-osmio como índice de edad en la formación de los elementos, si se admite que la constitución de la masa atómica primitiva, en lo que respecta a estos elementos, es del mismo orden que la de los

meteoritos, y si se tienen en cuenta las determinaciones de Brown y Goldberg (24), que dan 1.9 para el  $\text{Re}^{187}$  y 5.6 para el  $\text{Os}^{189}$ , se deduce un valor de  $42 \times 10^4$  m. a. para edad máxima de formación del renio.

La edad que hemos deducido para la formación del uranio es de  $0.46 \times 10^4$  m. a. (110), que consideramos está determinada con mayor precisión que las anteriores, por la afortunada circunstancia de existir dos familias que tienen el mismo elemento químico como cabeza y como producto estable final. La posible escisión de átomos de uranio desde su formación hasta el momento de individualizarse los astros, tiene para estos cálculos una influencia menor que el orden de los errores con que se valoran las edades.

De los valores obtenidos a partir de los datos experimentales de la composición elemental de la materia, se puede fijar por el potasio, rubidio y lutecio, un límite máximo para la formación de los elementos del orden de  $2 \times 10^4$  m. a., valor concordante con el deducido gráficamente por Alpher y Herman (9) para igualdad de densidades de materia de radiación, que es cuando aceptan la formación de los elementos (no como dicen los autores «ten times the present age of the universe»), aunque analíticamente establece  $10^7$  años, que es muy pequeño, momento que sugiere Gamow (45) para la formación del universo. La razón de haber tomado los valores que hemos deducido anteriormente, como límites máximos, es por ser los mayores posibles, ya que el caso más desfavorable que puede existir es el supuesto de que todo el  $\text{Ca}^{40}$ ,  $\text{Sr}^{87}$  y  $\text{Yb}^{176}$  sean radiogénicos.

*Valoración máxima en años de la formación de los núcleos de los elementos*

Elemento	Proporción isotópica en %	Números proporcionales a los contenidos de elementos	Productos de ambas proporciones	T en a.	Elemento final	Proporción isotópica en %	Números proporcionales a los contenidos de elementos	Productos de ambas proporciones	Edad en $10^4$ m. a.
$\text{K}^{40}$	0.011	0.1253	0.00138	$\beta$ $1.11 \times 10^9$	$\text{Ca}^{40}$	96.92	2.1147	204.96	1.91
$\text{Rb}^{87}$	27.2	310	8434	$69 \times 10^9$	$\text{Sr}^{87}$	6.96	250	1740	1.9
$\text{Lu}^{176}$	2.5	9	22.5	$\text{K}$ $3.7 \times 10^9$	$\text{Yb}^{176}$	13.38	35	468.3	1.7
				$\beta$ $1.4 \times 10^9$	$\text{Hf}^{176}$	5.30	250	1335	0.83
$\text{Re}^{187}$	62.93	1.9	120.12	$4,000 \times 10^9$	$\text{Os}^{187}$	1.64	5.6	9.18	42
Th					Pb				0.46
U					Pb				0.46

Dos consecuencias se pueden establecer de los valores anteriores: o que todos los elementos se formaron casi simultáneamente, en cuyo caso la edad que se debe admitir es la menor, o sea  $0.46 \times 10^4$  m. a. correspondiente al uranio, y es precisamente la medida con más precisión, o bien que los elementos se formasen por orden de complejidad, siendo los primeros en formarse los más sencillos; en este caso se puede afirmar que el tiempo máximo que hace que se formaron el potasio y rubidio fué  $1.9 \times 10^4$  m. a., el lutecio  $0.8 \times 10^4$  m. a. y el uranio  $0.46 \times 10^4$  m. a.

Faltan por interpretar algunos valores elevados de edades, de aclaración relativa fácil. Se puede decir que la edad elevada que se obtiene por el  $\text{Lu}^{176}$  es debida a que parte de  $\text{Yb}^{176}$  es originario. La máxima diferencia de los valores calculados con los posiblemente reales correspon-

den al proceso  $^{187}\text{Re} \rightarrow ^{187}\text{Os}$ ; como el período de aquél es muy grande,  $4 \times 10^{12}$  a., hay que admitir que la casi totalidad del  $^{187}\text{Os}$  es originario; la relación entre las porciones radiogénica y originaria la hemos calculado del orden de 1/100.

Se ha de tener en cuenta que estos valores en años, establecidos como límites máximos, son únicamente una orientación, debido a que no se conocen con precisión suficiente las relaciones en que están en nuestro planeta cada par de elementos origen y fin de la familia radiactiva.

## VI-2. Fijación del máximo del límite más cercano

Establecido en años el límite mínimo lejano de la formación de los núcleos de los elementos, es necesario establecer el máximo cercano, por si ambos se superpusieran; para ello se recurre a los elementos supuestos radiogénicos, de los que no son detectados sus predecesores naturales por haberse desintegrado casi totalmente.

La posible existencia de familias radiactivas con la cabeza extinguida, al menos en proporciones detectables, se pone claramente de manifiesto con los múltiples trabajos que existen sobre valoración de períodos de elementos obtenidos artificialmente y además se observa la particularidad de que en los 23 elementos monoisótopos (\*), todos con números ordinales y másicos impares, salvo el  $\text{Be}^9$ ,

(\*) Denominación impropia.

existe la posibilidad de dos familias para obtenerlos, excepto para el  $\text{Be}^9$  y el  $\text{Bi}^{209}$ .

Ante la posibilidad de que los elementos estables sean radiogénicos, se agrupan en el cuadro adjunto los siete que tienen mayor período, seleccionados entre los 23 que tienen períodos del orden de años. Para los cálculos se toman como proporciones, en cada pléyade de los elementos cabeza de familia, el décimo del límite de sensibilidad de los espectrógrafos de masas, con el objeto de alejar lo máximo el límite más cercano para la formación de estos elementos. Para el caso del tecnecio se ha supuesto que es monoisótopo con masa 99. Para el  $\text{I}^{129}$  y  $\text{Os}^{135}$  se considera el décimo del límite dado como máximo en las tablas (128).

Valoración mínima en años de la formación de los elementos

Isótopo	Proporción isótopo en la pléyade	Proporción pléyade en la materia	Proporción isótopo en la materia	Isótopo	Proporción isótopo en la pléyade $\times 10^{-2}$	Proporción pléyade en la materia	Proporción isótopo en la materia	Edad en m. a.	T en m. a.
$\text{Be}^{10}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-11}$	$\text{B}^{10}$	18.83	$7 \times 10^{-5}$	$132 \times 10^{-7}$	51	2.5
$\text{C}^{14}$	$10^{-6}$	$0.51 \times 10^{10}$	$51 \times 10^{-14}$	$\text{N}^{14}$	99.62	$5 \times 10^{-4}$	$498 \times 10^{-6}$	0.1	0.0064
$\text{Cl}^{36}$	$10^{-6}$	$10^{-3}$	$10^{-9}$	$\text{S}^{36}$	0.016	$5 \times 10^{-4}$	$80 \times 10^{-9}$	6.3	1
$\text{Cl}^{36}$	$10^{-6}$	$10^{-3}$	$10^{-9}$	$\text{A}^{36}$	0.35	$1.7 \times 10^{-6}$	$5.95 \times 10^{-9}$	4.4	1
$\text{Tc}^{99}$	10	$1.5 \times 10^{-10}$	$1.5 \times 10^{-10}$	$\text{Ru}^{99}$	12.81	$1 \times 10^{-8}$	$12.81 \times 10^{-10}$	3.0	0.94
$\text{I}^{129}$	$2.5 \times 10^{-6}$	$1.51 \times 10^{-7}$	$37.5 \times 10^{-14}$	$\text{Xe}^{129}$	26.23	$4 \times 10^{-12}$	$10.5 \times 10^{-13}$	193	$10^2$
$\text{Os}^{135}$	$2 \times 10^{-6}$	$1.5 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-12}$	$\text{Ba}^{135}$	6.59	$6 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-6}$	0.5	0.025

Los valores superiores entre los límites más próximos de formación de los elementos son 200 y 50 m. a. correspondientes a las evoluciones yodo-xenón y berilio-boro, y no vemos de momento la posibilidad de que existan procesos de desintegración de posibles familias radiactivas desaparecidas, tales, que sus medidas con el actual instrumental científico lleguen a dar mayores valores que el establecido para este lapso de tiempo, límite que corresponde aproximadamente al triásico.

El límite máximo cercano para la formación de los núcleos de los elementos dista considerablemente del mínimo lejano, no existiendo impedimento para que se tome  $0.46 \times 10^4$  m. a. como valor real en años del tiempo transcurrido desde la formación de los elementos más modernos.

Cuando se conozca con más precisión la composición teórica elemental de la materia, será de interés determinar nuevamente los límites cercano y lejano de la formación de los núcleos elementales, a partir de los valores teóricos.

### VI-3. Limitación geofísica de las probabilidades de transformación

Así como las probabilidades de transformación sirven en geofísica para deducir las edades de las formaciones y calor generado, se puede recíprocamente, conociendo el calor generado o la edad de las formaciones, deducir la probabilidad de transformación e incluso en algunos casos de isomerismo la relación en que se encuentran ambas ramas. Uno de los ejemplos más típicos es el del potasio; basándose en razonamientos de este tipo se han estudiado

los valores de  $\lambda$ ,  $\lambda_e$  y  $\lambda_\beta$  así como la relación en que están los isómeros de emisión  $\beta^-$  y de captura K.

La probabilidad de transformación de un elemento, con dos emisiones diferentes, es igual a la suma de las dos probabilidades de transformación, en el caso del potasio  $\lambda = \lambda_\beta + \lambda_e$ , por las fórmulas generales,

$$K_t = R_o \exp [-(\lambda_\beta + \lambda_e) t]$$

El número de átomos de  $\text{Ca}^{40}$  formados a partir del  $\text{K}^{40}$  son

$$\text{Ca}^{40} = m_1 = (K_o - K_t) \lambda_\beta / (\lambda_\beta + \lambda_e) = (K_o - K_t) \frac{\lambda_\beta}{\lambda}$$

y el de  $\text{A}^{40}$

$$\text{A}^{40} = m_2 = (K - K_t) \lambda_e / (\lambda_\beta + \lambda_e) = (K_o - K_t) \frac{\lambda_e}{\lambda}$$

al sumarlos

$$\text{A}^{40} + \text{Ca}^{40} = \text{C}^{40} (1 + \lambda_e/\lambda_\beta)$$

al conocer la composición isotópica  $\lambda_\beta$  se puede deducir  $\lambda_e$ . En función de la edad mineral

$$\text{Ca}^{40}/\text{A}^{40} = \frac{\lambda_\beta}{\lambda} [\exp(\lambda t) - 1]$$

Si se conoce la edad  $t$  del mineral, y a ser posible que sea un ejemplar antiguo, y la relación  $\text{Ca}^{40}/\text{K}^{40}$ , se puede deducir  $\lambda$  en función  $\lambda_\beta$ .

Es preciso efectuar la elección de un mineral adecuado para estas valoraciones. Aherens y Evans (7) se inclinan por la lepidolita, preferentemente precambriana, mica liti-nífera del subgrupo de la muscovita que tiene la relación Rb/Sr para determinar la edad y la particularidad de que no suele estar contaminada por el Sr y Ca. Dada su antigüedad, hay tiempo para la acumulación de cantidades importantes de A, Ca y Sr. Los valores deducidos por estos investigadores como más probables, para las constantes



radiactivas en estudios de minerales de  $2.1 \times 10^8$  m. a. y con  $\frac{Ca^{40}}{K^{40}} = 11$  son los siguientes:

$$\lambda\beta = (0.65 \pm 0.11) \times 10^{-9} \text{ a.}^{-1} \text{ y}$$

$\lambda_e = (0.9 \pm 0.1) \times 10^{-9} \text{ a.}^{-1}$  con un período total de  $T = (10.45 \pm 0.05) 10^9 \text{ a.}$  y probabilidad de transformación total  $\lambda = (1.55 \pm 0.2) \times 10^{-9} \text{ a.}^{-1}$ .

La relación  $K/\beta$  que se determina en los minerales tiene valores diferentes. Aherens y Evans (7), dedujeron 11 por la medida en los minerales. En otra ocasión habían deducido 29/21; también por mediciones en minerales llegan a 1/10 Nier y Aldrich; menos de 1/9 Suess; 3/22 Sawn y Wiedenbeck, etc., siendo valor bastante bueno el de 1/8. Estos valores pueden no ser lo suficientemente exactos por tres razones: una, que todo el Ca radiogénico encontrado por el análisis no se engendre en la muestra, lo que se puede identificar y corregirse por la existencia del  $Ca^{44}$  que sirve de índice de contaminación. Que no todo el  $Ca^{40}$  permanezca en el mineral, aunque sus pérdidas produzcan influencias pequeñas y, análogamente, que no permaneció en el mineral todo el  $A^{40}$ , aunque en general las muestras de rocas no denudadas no perdieron este gas.

También sirven las consideraciones geofísicas para demostrar por diversos caminos los valores excesivos de los períodos; citemos como ejemplo el del potasio, que hemos desarrollado anteriormente (118). Desde el punto de vista de manifestaciones caloríficas, se llega a que los valores deducidos por Bleuler y Gabriel (18), para el potasio, de  $\frac{\lambda k}{\lambda_e} = \frac{A_r}{Ca} = 1.9 \pm 0.4$ ,  $T_\beta = (7.0 \pm 1.0) \times 10^8 \text{ a.}$  y  $T_{\text{Total}} = 2.4 \times 10^8 \text{ a.}$  son incompatibles con la formación del sial hace más de 1,500 m. a., a causa de la temperatura tan elevada que debía existir, por el calor engendrado por

los átomos de potasio que con este período de transformación tuvieron que evolucionar durante el último ciclo geológico. La masa de  $K^{40}$ , al formarse la corteza, sería  $13 \times 10^{23} \text{ g.}$ , con un calor producido de 2.8 cal/g. a.; para todo el potasio sería  $36,000 \times 10^{20} \text{ cal/a.}$ , cantidad 6,000 veces la generada por los procesos radiactivos durante igual lapso de tiempo. Estos valores elevados de la probabilidad de transformación, tendrían una posibilidad de realidad, en el caso de que existiese una concentración extraordinaria de potasio en la superficie, con lo cual disminuiría el número total de átomos del planeta.

Al considerar el  $K^{40}$  como generador de todo el  $A^{40}$  existente, se pueden determinar los límites de  $\lambda_e$ . En los anales de geofísica (79), considera Jeffreys esta transformación K y hace estudios a base de que el  $A^{40}$  atmosférico procede del  $K^{40}$  para edades del planeta de 2,100 y 3,000 millones de años. En el primer caso, el valor de  $\lambda_e = 1.9 \times 10^{-9} \text{ a.}^{-1}$ , y en el segundo,  $\lambda_e < 1.4 \times 10^{-9} \text{ a.}$  valores que razona como muy elevados para el proceso de solidificación experimentado por el globo.

No considera dicho investigador, en sus cálculos, el argón que se produjo a partir del potasio, desde la formación de este elemento hasta el comienzo de la solidificación de la corteza terrestre. Supongamos que cuando se individualizó nuestro planeta, éste no tenía argón atmosférico, este caso sirve para fijar el límite mínimo de  $\lambda_e$ . La cantidad actual del argón atmosférico en peso del aire es de 1.3 %, o sea que 13 g. del aire por  $\text{cm.}^2$  de superficie terrestre proceden del potasio por captura K. Es interesante ver, con las probabilidades de transformación extremas, qué espesor se tuvo que denudar desde la solidificación de la corteza hasta hoy, para que durante esos 3,500 millones de años que estuvo generándose A por captura K,

se produjese la mencionada cantidad de argón y acumulase en sus rocas madres, a base de que la composición media en potasio de la corteza del planeta fuese de la misma parte erosionada que la actual, pudiendo considerarse que en 1 Km. de espesor existe  $5 \times 10^{18}$  g. de potasio por  $\text{cm.}^2$  de superficie; de ellos corresponden al  $\text{K}^{44}$  0.55 g. Al considerar los dos valores extremos que se han deducido para la probabilidad de transformación, que son  $1.91 \times 10^{-9}$  de Bleuler y Gabriel (18), por acumulación de calcio en las micas antiguas, y  $0.36 \times 10^{-9}$  a. de Floyd y Borst (43), por acumulación de  $\text{A}^{40}$  en el cloruro potásico, se llega a un espesor denudado desde que comenzó la solidificación de la corteza terrestre de 30 metros y 270 kilómetros, respectivamente. El primero muy bajo; el segundo inaceptable por excesivo, pero sirve para indicar que  $0.36 \times 10^{-9}$  a.<sup>-1</sup> corresponde al límite mínimo para el valor de  $\lambda_e$ . Si hiciéramos lo inverso, es decir, qué probabilidad de transformación correspondería para que el argón atmosférico se hubiese generado por captura K en el potasio contenido en 1 Km. de espesor del terreno correspondiente a la denudación, se tiene  $\lambda_e = 0.93 \times 10^{-9}$  a.<sup>-1</sup>, como era de esperar inferior al establecido por Jeffreys como límite máximo; el espesor denudado fué considerablemente superior al Km. desde que comenzó la denudación terrestre. Por tal motivo, consideramos que  $\lambda_e < 0.9 \times 10^{-9}$  a.<sup>-1</sup>.

## VII. RESERVAS PLANETARIAS DE LOS ELEMENTOS RADIATIVOS

Como las fórmulas de evolución relacionan cantidades de elementos actuales y pretéritos, así como otra serie de datos interesantes, hemos visto la posibilidad de su utilización para la deducción de las reservas planetarias de los elementos radiactivos.

### VII-1. Cantidad de U, AcU y Th en el momento actual y al formarse la corteza

Para calcular la cantidad actual de cada elemento es suficiente aplicar la fórmula I-6, que da los átomos que han evolucionado, en función de los finales del elemento originario. Si se quieren fijar las cantidades de U, AcU y Th, que existieron al formarse la corteza, se aplica la fórmula I-6 en función de las iniciales. En todas ellas figura como constante el tiempo transcurrido  $T = 3,300$  m. a.

## Composición isotópica del plomo en la corteza (\*)

Edad en m. a.	Pb <sup>204</sup>	Pb <sup>206</sup>	Pb <sup>207</sup>	Pb <sup>208</sup>	Suma
3.300	1	11.22	13.71	31.82	57.75
Hoy	1	18.77	15.75	38.60	74.12
Formado en los últimos 3,300	,	7.55	2.04	6.78	,

Estas dos fórmulas, para el caso de AcU, serán

$$AcU_0 = \frac{2.04}{1 - \exp(-\lambda_{AcU} \times 3300 \times 10^6)} = 2.12 \quad (VII-1)$$

$$AcU_{0+T} = \frac{2.04}{\exp(\lambda_{AcU} \times 3300 \times 10^6) - 1} = 0.082 \quad (VII-2)$$

la VII-1 da la cantidad de AcU al formarse la corteza, y la VII-2 en el momento actual; análogamente, para el UI se deduce 18.87 y 11.34, y para el torio 43.83 y 37.05 al formarse la corteza y en el momento actual, respectivamente.

## Variación del UI-AcU-Th en la corteza

Tiempo en m. a.	UI	AcU	Th
3,300	18.87	2.12	43.83
Hoy	11.34	0.082	37.05

(\*) Los valores están sacados del último cuadro del subcapítulo V-3.

Estos valores dan una marcha física para determinar las relaciones actuales de Pb/U, Pb/Th y Th/U en la corteza terrestre. Es suficiente sumar todos los valores de los plomos que dan 74.12 y dividirla entre la suma de los uranios 11.42 • entre el torio 37.05, o dividir estas últimas cifras

$$Pb/U = \frac{74.12}{11.42} = 6.6 \quad Pb/Th = \frac{74.12}{37.40} = 2.0$$

$$Th/U = \frac{37.05}{11.42} = 3.1$$

Es interesante comparar estos valores con los deducidos químicamente. Si se establecen las comparaciones con los minuciosos valores de Berg (16), que da para contenido medio en la corteza terrestre

Pb =  $3 \times 10^{-5}$ , U =  $4.2 \times 10^{-6}$  y Th =  $1.2 \times 10^{-5}$  los cocientes son

$$Pb/U = 7.1, \quad Pb/Th = 2.5 \quad y \quad Th/U = 2.8$$

Estos valores discrepan poco de los que acabamos de establecer. Dadas las variaciones en la distribución elemental del plomo, uranio y torio, en la corteza terrestre y dentro de ésta en el sial y en el sima, aunque se parta de un número elevado de análisis químicos, se deben aceptar como relaciones más probables las deducidas ahora físicamente.

La relación  $\frac{UI}{AcU}$  hace 3,300 m. a. la da Erös (39) como 0.10, mientras que con los valores deducidos por nosotros es 0.11, totalmente concordante, lo mismo que otros varios que deduce para el AcU.

## VII-2. Necesidad de diferentes valores para la relación Pb/U de la corteza y del manto del planeta

Como se conocen las composiciones isotópicas de varios plomos de edades determinadas, así como la composición que tenía el plomo al formarse la corteza, se puede establecer el tiempo necesario para formación de cada uno de los tres plomos radiogénicos de cada muestra, suponiendo que la materia inicial que formó el sial de los continentes y el sima, tuvo la misma composición elemental que la primitiva que formó la parte interna del planeta. Los átomos que evolucionaron desde el origen de los tiempos hasta la formación de la corteza, o sea durante el tiempo  $\theta$ , sirven para dar la composición isotópica del plomo al formarse ésta, que según la fórmula I-6 es

$$N_0 = \frac{m_\theta}{1 - \exp(-\lambda n \times \theta)} \quad (\text{VII-3})$$

y análogamente los que evolucionaron hasta que se formó la muestra de plomo estudiada, de edad  $t + \theta$ , dan la composición de la respectiva muestra, de acuerdo con la fórmula I-6 es

$$N_0 = \frac{m_{\theta+t}}{1 - \exp(-\lambda n (\theta + t))} \quad (\text{VII-4})$$

igualando ambas

$$N_0 = \frac{m_\theta}{1 - \exp(-\lambda n \times \theta)} = \frac{m_{\theta+t}}{1 - \exp[-\lambda n (\theta + t)]} \quad (\text{VII-5})$$

Con esta expresión se puede deducir  $\exp(\lambda n \times \theta)$  y, por consiguiente,  $\theta$  incógnita que se pretende determinar. En el adjunto cuadro se dan una serie de valores de composiciones isotópicas de plomos de diversas edades, figurando en la columna de edades de los mismos, la que tiene tomando hoy como origen de tiempos; por lo tanto, en la fórmula VII-5,  $m_\theta$  son los valores isotópicos del plomo aborigen, que figuran en primera línea, y  $m_{\theta+t}$  los valores de las siguientes:  $t$  es igual a los 3,300 m. a. que han transcurrido desde la formación de la corteza, menos los m. a. que figuran en la columna de las edades, por ser la edad del mineral a partir de hoy.

Para cada uno de los tres plomos  $\text{Pb}^{206}$ - $\text{Pb}^{207}$ - $\text{Pb}^{208}$  se pueden establecer relaciones análogas que, resueltas, dan los valores de  $\theta$  o tiempos transcurridos entre las formaciones del uranio y torio y la corteza, que se han conseguido en el cuadro siguiente:

*Tiempos entre la formación del U y Th y la corteza, suponiendo radiogénicos los tres plomos*

Clases de plomos	Pb <sup>206</sup>	Pb <sup>207</sup>	Pb <sup>208</sup>	Edad en m. a.	Valores para $\theta$ en m. a. por		
					Pb <sup>206</sup>	Pb <sup>207</sup>	Pb <sup>208</sup>
Aborigen	11.22	13.71	31.82	3350	>	>	>
13	14.65	14.65	34.48	1000	5,450	2,750	16,500
5	18.10	15.57	37.85	250	4,550	2,250	11,200
10	16.04	15.11	36.26	60	5,500	2,500	14,300
21	18.71	15.70	38.50	25	4,550	2,200	11,000
Actual	18.77	15.75	38.60	0	4,550	2,200	11,000
Media					4,920	2,380	12,800

Este cuadro, de enorme interés, por ser del mismo orden todas las edades para el Pb<sup>206</sup>, que dan una media de 4,900 millones de años, así como las correspondientes al Pb<sup>207</sup>, con una media de 2,400 m. a., y 12,800 m. a. para el Pb<sup>208</sup>. Esta diferencia tan elevada no permite aceptar la suposición de que la materia de la corteza terrestre tuvo, al formarse, la misma composición elemental cuantitativa media que el manto de la tierra.

Estos resultados permiten definir, desde un punto de vista radiogénico, qué se entiende por corteza de la tierra y por manto. Se denomina corteza a la parte externa del globo terrestre, que tiene la misma composición isotópica para el plomo común que hoy se forma en cualquier parte de ella (Pb<sup>204</sup>-1, Pb<sup>206</sup>-18.8, Pb<sup>207</sup>-15.7, Pb<sup>208</sup>-38.6); su profundidad es difícil de valorar actualmente, pero por lo menos consta del sial y de todo o parte del sima.

Por el cuadro anterior se puede asegurar que al formarse la corteza fué menor la cantidad de uranio que pasó a ésta, respecto al Pb<sup>204</sup>, que la contenida en el manto por

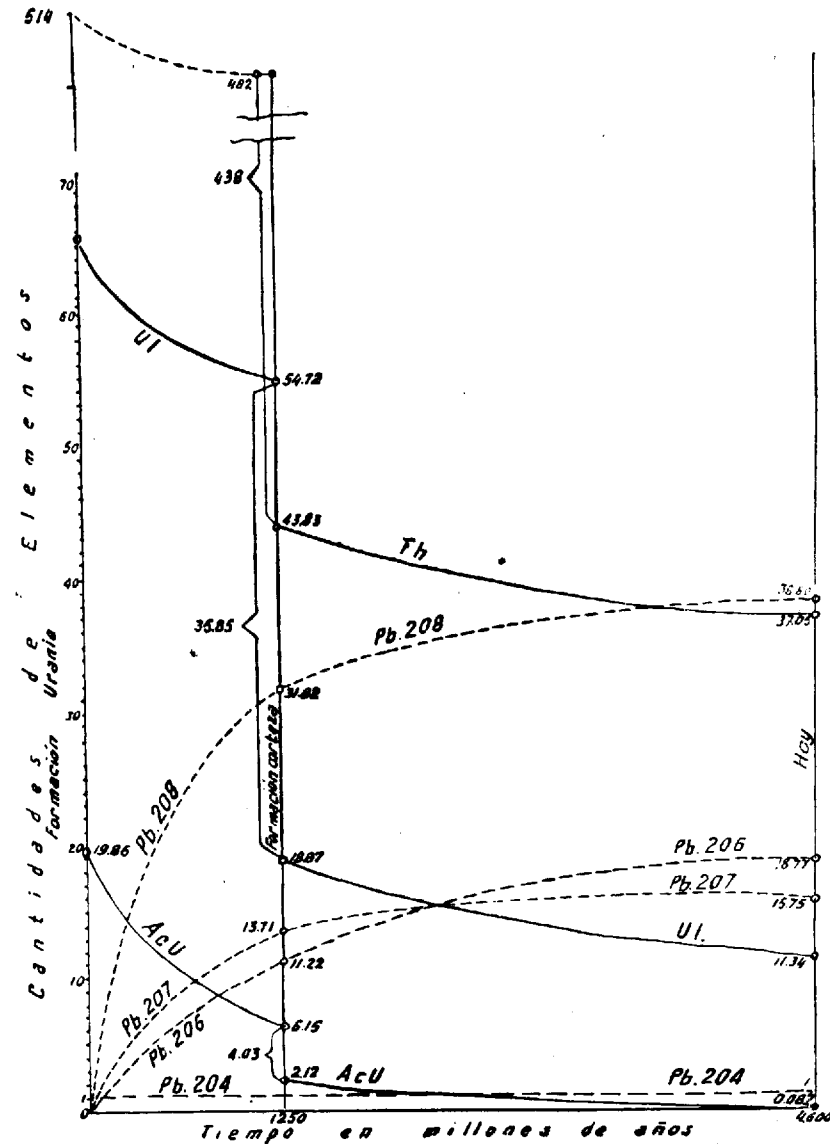


Fig. VII-1.—Variación con el tiempo del U-Th-Pb en la parte de materia que formó la corteza terrestre.

dar mayor valor de  $\theta$  para los cálculos, según la familia  $UI \rightarrow Pb^{206}$ , que tienen menor probabilidad de transformación del elemento cabeza de familia que la  $AcU \rightarrow Pb^{207}$  (fig. VII-1); si hubiere sido análoga la distribución, serían iguales los valores de  $\theta$  deducidos por el  $Pb^{206}$  y el  $Pb^{207}$ .

Las soluciones al problema de edades por el  $Pb^{208}$  son del orden de 12,800 m. a., que también corresponden al paso de mayor cantidad de torio al manto que a la corteza.

Estas consideraciones se aprecian claramente en la figura VII-1, deducida de los cuadros del capítulo VII-4 al hacer  $A = 0$ , que es lo mismo que considerar únicamente las fracciones de plomo que pasaron a la corteza y las cantidades de los elementos cabezas de familia correspondientes a ellas. En la gráfica se ve que de la cantidad de  $AcU$  que dió lugar al plomo de la corteza, pasó al manto 4.03 en el momento de formarse aquélla y 35.83 del  $UI$ , quedando en la corteza 2.12 y 18.87, respectivamente. Del torio pasó a la corteza, en la misma época, 43.83 y 438 al manto.

En resumen, estas distribuciones fueron la causa de que las relaciones  $Pb/U$  y  $Pb/Th$ , al formarse la corteza, fueran diferentes para ésta que para el resto de la materia del planeta.

Como se conoce la composición isotópica del plomo al formarse la corteza, el tiempo que hace que se formó y la relación actual de los dos uranios cabeza de familia, es fácil establecer una ecuación exponencial con  $\theta$  como incógnita, tiempo transcurrido entre la formación del uranio y la corteza del planeta. En efecto, por la I-6

$$Pb_{\theta} = N_0 (1 - \exp(-\lambda n \times \theta)) \quad (VII-6)$$

pero por la I-5

$$N_0 = N_{\theta+T} \exp(\lambda n (\theta + T)) \quad (VII-7)$$

de donde

$$Pb_{\theta} = N_{\theta+T} [\exp(\lambda n (\theta + T)) - \exp(\lambda n \times T)] \quad (VII-8)$$

Al aplicar esta fórmula a los dos uranios  $AcU$  y  $UI$  y establecer su cociente se tiene

$$\frac{Pb_{\theta}^{207}}{Pb_{\theta}^{206}} = \frac{AcU_{\theta+T}}{UI_{\theta+T}} \times \frac{\exp(\lambda_{AcU}(\theta + T)) - \exp(\lambda_{AcU} \times T)}{\exp(\lambda_{UI}(\theta + T)) - \exp(\lambda_{UI} \times T)} \quad (VII-9)$$

sustituídos los símbolos por los valores da

$$\frac{13.71}{11.22} = \frac{1}{139} \times \frac{\exp[\lambda_{AcU}(\theta + 3.300 \times 10^6)] - \exp(\lambda_{AcU} \times 3.300 \times 10^6)}{\exp[\lambda_{UI}(\theta + 3.300 \times 10^6)] - \exp(\lambda_{UI} \times 3.300 \times 10^6)} \quad (VII-10)$$

Esta ecuación se puede resolver con gran facilidad y de una manera rápida, por intersección de dos líneas; para ello se hace en la ecuación VII-10

$X = \exp(\lambda_{UI} \times \theta)$  e  $Y = \exp(\lambda_{AcU} \times \theta)$   
y se tiene la ecuación

$$10.878 X - 9.878 = Y \quad (VII-11)$$

elevando  $X$  a la potencia  $\lambda_{AcU}$  e  $Y$  a la  $\lambda_{UI}$  los segundos miembros son iguales; igualando se obtiene la ecuación

$$X^{\lambda_{AcU}} = Y^{\lambda_{UI}} \quad (VII-12)$$

Las curvas representadas por las ecuaciones VII-11 y VII-12 se cortan en el punto de coordenadas  $X = 1.205$  e  $Y = 3.25$ .

Estos valores de  $X$  e  $Y$  corresponden a un valor de  $\theta$  igual a 1,210 m. a.

El tiempo transcurrido, desde la formación del uranio uno y del actinouranio hasta que se formó el sial, o sea las primeras manifestaciones de la corteza de nuestro planeta, fué del orden de 1,200 m. a. Esta cifra es menor que la deducida en el subcapítulo VII-2 para la formación del uranio al suponer que la materia de la corteza terrestre tuvo la misma composición elemental media en el momento de formarse que el resto del planeta y confirma las afirmaciones anteriores de que, respecto al plomo, pasó más cantidad de uranio a la parte interna de la tierra que a la corteza.

Por los razonamientos anteriores se ve confirmada con otro dato la procedencia de la tierra a partir de la materia única primitiva.

### VII-3. Distribución del uranio, torio y plomo en la corteza y el manto terrestre

La hipótesis necesaria para poder efectuar el cálculo de la diferente distribución del plomo y uranio en la corteza y el manto terrestre, se funda en que *la diferenciación que se produjo no fué isotópica sino elemental, o sea que cada elemento químico, aunque se distribuyó en cada fracción en distintas concentraciones, conservó su composición isotópica.*

Para distinguir en las fórmulas la fracción que pasó al

sial o quedó en el manto, se recurre a los símbolos  $c$  o  $m$ . Las cantidades de elementos cabezas de familia y radiogénicos en el momento de formarse el sial, se pueden deducir por la fórmula I-5.

$$N_{\theta} = N_0 \times \exp(-\lambda n \times \theta) = N_{\theta m} + N_{\theta c} \quad (\text{VII-13})$$

$$m_{\theta} = N_0 (1 - \exp(-\lambda n \times \theta)) = Pb_{\theta m} + Pb_{\theta c} \quad (\text{VII-14})$$

al dividir las

$$\frac{Pb_{\theta m} + Pb_{\theta c}}{N_{\theta m} + N_{\theta c}} = \frac{1}{\exp(\lambda n \times \theta) - 1} \quad (\text{VII-15})$$

esta fórmula se puede establecer para los dos elementos U y AcU

$$\frac{U_{\theta m} + U_{\theta c}}{Pb_{\theta m}^{206} + Pb_{\theta c}^{206}} = \frac{1}{\exp(\lambda_{U1} \times \theta) - 1} = \frac{1}{0.2037} \quad (\text{VII-16})$$

$$\frac{AcU_{\theta m} - AcU_{\theta c}}{Pb_{\theta m}^{207} + Pb_{\theta c}^{207}} = \frac{\exp(\lambda_{AcU} \times \theta) - 1}{1} = \frac{1}{2.2397} \quad (\text{VII-17})$$

A la relación de los uranios en la corteza y manto de la tierra, en el momento de formarse la corteza, se denomina  $B$ , la de los torios se representa por  $C$ , y a la relación correspondiente a los plomos por  $A$ . Con estos símbolos se pueden relacionar ambas fracciones

$$AcU_m = B \times AcU_c, \quad U_m = B \times U_c, \quad Th_m = C \times Th_c \\ Pb_m^{207} = A \times Pb_c^{207}, \quad Pb_c^{206} = A \times Pb_c^{206}, \quad Pb_m^{208} = A \times Pb_c^{208}$$

como se conocen los valores de  $U_{1c}$ ,  $AcU_c$ ,  $Th_c$ ,  $Pb_c^{206}$ ,  $Pb_c^{207}$  y  $Pb_c^{208}$  se pueden sustituir en las fórmulas VII-16 y VII-17. Para las familias del uranio se cuenta con un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, que no permiten resolver el problema por ser ambas equivalentes

$$\frac{U_{\theta c} (1 + B)}{Pb_{\theta c}^{206} (1 + A)} = \frac{1}{0.2037}, \quad \frac{AcU_c (1 + B)}{Pb_{\theta c}^{207} (1 + A)} = \frac{1}{2.1397} \quad (VII-18)$$

pero se puede obtener de cualquiera de ellas B en función de A

$$B = 2.9 \times A + 1.9 \quad (VII-19)$$

Para la familia del torio, se tiene la ecuación

$$\frac{Th_{\theta c} (1 + C)}{Pb_{\theta c}^{208} (1 + A)} = \frac{1}{0.065} \quad (VII-20)$$

de donde

$$C = 11.0 \times A + 10.0 \quad (VII-21)$$

Como ninguno de estos coeficientes puede ser negativo, el valor mínimo de A es 0, que corresponde al caso extremo de que todo el plomo pasase a la corteza, en estas condiciones  $D = 10.0$ , o sea que, como mínimo, la cantidad total de torio del manto de nuestro planeta es diez veces la que existe en la corteza.

El valor de A no se puede determinar, aunque se conozca con precisión la proporción del uranio, torio y plomo de la materia universal; por esta razón, estamos ensayando

su probable determinación por razonamientos térmicos, orientados hacia un límite superior del calor central del planeta.

#### VII-4. Variación con el tiempo del U, Th y Pb

Los valores en cada momento de los dos uranios, el torio y los plomos, se tienen que dar en función de la variable A, que indica la relación entre el plomo que pasó al manto y la que quedó en la corteza.

Las cantidades de  $U_{\theta}$ ,  $AcU_{\theta}$  y  $Th_{\theta}$  que existieron al formarse la corteza terrestre, se componen de dos partes: una la que pasó a ésta, determinada anteriormente (subcapítulo VII-1).

$$U_{\theta c} = 18.87; \quad AcU_{\theta c} = 11.2; \quad Th_{\theta c} = 43.83$$

y otra la que pasó al manto, que se puede deducir por la fórmula VII-19

$$U_{\theta m} = B \times U_{\theta c} = 35.85 + 54.72 A, \quad AcU_{\theta m} = B \times AcU_{\theta c} = 4.03 + 6.15 A, \quad Th_{\theta m} = C \times Th_{\theta c} = 438.3 + 488.1 A \quad (VII-22)$$

La cantidad total de uranio y torio que existió en aquel momento fué la suma de ambas

$$U_{\theta} = 54.72 (1 + A), \quad AcU_{\theta} = 6.15 (1 + A) \text{ y} \\ Th_{\theta} = 482.1 (1 + A) \quad (VII-23)$$

Las cantidades de  $AcU_{\theta}$ ,  $U_{\theta}$  y  $Th_{\theta}$  que tuvieron que



existir originariamente, se pueden establecer por la fórmula I-5 y son

$$U_{I_0} = U_{I_0} \exp(\lambda_{UI} \times 1,200 \times 10^6) = 54.72 \times (1 + A) \times \exp(\lambda_{UI} \times 1,200 \times 10^6) = 65.94 \times (1 + A) \quad (\text{VII-24})$$

$$AcU_0 = AcU_0 \exp(\lambda_{AcU} \times 1,200 \times 10^6) = 6.15 (1 + A) \times \exp(\lambda_{AcU} \times 1,200 \times 10^6) = 19.86 (1 + A) \quad (\text{VII-25})$$

$$Th_0 = Th_0 \exp(\lambda_{Th} \times 1,200 \times 10^6) = 482.1 (1 + A) \times \exp(\lambda_{AcU} \times 1,200 \times 10^6) = 513 (1 + A) \quad (\text{VII-26})$$

La existencia actual de  $U_{I_{t+T}}$ ,  $AcU_{t+T}$  y  $Th_{t+T}$  en la corteza ya se calculó en el subcapítulo VII-I, que son 11.34, 0.082 y 37.0 respectivamente; en el manto existe esta misma cantidad multiplicada por B para los uranios y por C para el torio.

$$U_{I_{(t+T)_m}} = 21.55 + 32.89 A \quad (\text{VII-27})$$

$$AcU_{(t+T)_m} = 0.156 + 0.238 A \quad (\text{VII-28})$$

$$Th_{(t+T)_m} = 370.5 + 407.5 A \quad (\text{VII-29})$$

estas ecuaciones muestran que existe más uranio y torio en el manto del planeta que en la corteza; sus límites mínimos se obtienen al hacer  $A = 0$  en las ecuaciones VII-27, VII-28 y VII-29.

La cantidad total de cada uno de los uranios y del torio que existe actualmente es la suma de los contenidos en la corteza y manto de la tierra, dadas para el AcU en las fórmulas VII-2 y VII-28, para el UI en el subcapítulo VII-I y fórmula VII-27, y para el Th en el subcapítulo VII-I y en la fórmula VII-29. Los valores son

$$U_{I_{t+T}} = 32.89 A \quad (\text{VII-30})$$

$$AcU_{t+T} = 0.238 (1 + A) \quad (\text{VII-31})$$

$$Th_{t+T} = 407.5 (1 + A) \quad (\text{VII-32})$$

La valoración de los plomos se establece de una manera análoga a la de los uranios. Al formarse el uranio no podía existir ningún átomo de Pb206, Pb207 y Pb208, mientras que de Pb204 había  $1 + A$ .

Al formarse la corteza pasó a ésta, según se vió en el subcapítulo V-3, 1 de Pb204, de Pb206-11.22, de Pb207-13.71 y 31.82 de Pb208, y quedaron en la parte interna del planeta las mismas cantidades de cada uno de ellos multiplicadas por A.

Actualmente se conocen (subcapítulo V-3) las cantidades de plomo en la corteza y se obtienen las del manto sumando a las que existían en éste, al formarse la corteza, A de Pb204, 11.22 A de Pb206, 13.71 A de Pb207 y 31.82 A de Pb208 el número de átomos de las respectivas familias de los uranios y de la familia del torio, que han evolucionado en el manto y transformados en plomo, o sea

$$U_{I_{0m}} - U_{I_{(t+T)_m}} = 14.30 + 21.83 A \quad (\text{VII-33})$$

$$AcU_{0m} - AcU_{(t+T)_m} = 3.87 + 5.91 A \quad (\text{VII-34})$$

$$Th_{0m} - Th_{(t+T)_m} = 66.8 + 74.6 A \quad (\text{VII-35})$$

por lo tanto, sus valores son:

$$Pb204 = A \quad (\text{VII-36})$$

$$\text{Pb206} = 14.30 + 33.05 A \quad (\text{VII-37})$$

$$\text{Pb207} = 3.87 + 19.62 A \quad (\text{VII-38})$$

$$\text{Pb208} = 67.8 + 106.4 A \quad (\text{VII-39})$$

En la fig. VII-1 se representan las variaciones de estas cantidades de uranio, torio y plomo, en la parte que corresponde a la corteza, que, por lo tanto, se pueden deducir de estos cuadros al hacer  $A = 0$ , o sea, al suponer que todo el plomo pasó a la corteza, en el momento de iniciarse su solidificación.

El cuadro adjunto es un resumen de los valores deducidos de cada elemento, para las diversas porciones, en tres momentos fundamentales.

Variación de los elementos

TIEMPO	PORCIÓN	Pb <sup>204</sup>	Pb <sup>206</sup>	Pb <sup>207</sup>	Pb <sup>208</sup>	U <sup>238</sup>	U <sup>235</sup>	Th <sup>232</sup>
Formación uranio .....	Total	1 + A	0	0	0	65.9 (1 + A)	19.9 (1 + A)	513.9 (1 + A)
Formación corteza ...	Corteza	1	11.2	13.7	31.8	18.9	2.1	43.8
	Manto	A	11.2A	13.7A	31.8A	35.8 + 54.7	4.1 + 6.2A	438.3 + 486.1A
	Total	1 + A	11.2(1 + A)	13.7(1 + A)	31.8(1 + A)	54.7 (1 + A)	62.2 (1 + A)	482.1 (1 + A)
Hoy .....	Corteza	1	18.8	15.7	38.6	11.3	0.08	37.0
	Manto	A	14.2 + 33.0A	3.9 + 19.6A	67.8 + 106.4A	21.6 + 32.9A	0.16 + 0.24A	370.5 + 407.5A
	Total	1 + A	33.0(1 + A)	19.6(1 + A)	106.4(1 + A)	32.9 (1 + A)	0.24 (1 + A)	407.5 (1 + A)

### VII-5. Las relaciones Pb/U y Pb/Th

Las relaciones plomo-uranio y plomo-torio son función del tiempo, así como de la formación terrestre considerada, sea la corteza o bien el manto, o el conjunto de ambas.

A) **AL FORMARSE EL URANIO:** El momento en que las relaciones Pb/U y Pb/Th fueron mínimas, coincide con la formación de los núcleos del uranio y torio por no existir plomos radiogénicos en aquellos momentos; el único plomo que había es la totalidad del actual Pb<sup>204</sup>, por ello las relaciones son fáciles de establecer.

$$\frac{\text{Pb}}{\text{U}} = \frac{1 + A}{85.9 (1 + A)} = 0.012 \quad (\text{VII-40})$$

$$\frac{\text{Pb}}{\text{Th}} = \frac{(1 + A)}{513.9 (1 + A)} = 0.002 \quad (\text{VII-41})$$

B) **AL FORMARSE LA CORTEZA:** En el momento de formarse la corteza terrestre, se conocen las cantidades existentes en ella, de cada uno de los cuatro plomos estables más abundantes, así como las cantidades de los dos uranios cabezas de familia y del torio.

De los cuatro plomos estables, pasaron a la corteza  $1 + 11.22 + 13.71 + 31.82 = 57.75$ , y de ambos uranios  $18.87 + 2.12 = 20.99$ ; su relación es  $\text{Pb/U} = 57.75/20.99 = 2.75$ .

De los cuatro plomos, pasaron a la parte interna del planeta  $A + 11.22 A + 13.71 A + 31.81 A = 57.75 A$ , y de los uranios  $(35.85 + 54.72 A) + (4.03 + 6.15 A) = 39.88 +$

$+ 60.87 A$ . La relación entre ambos elementos es  $\frac{57.75 A}{39.88 + 60.87 A}$

Esta relación varía, de 0 para el caso de  $A = 0$ , en el caso hipotético de que no pasó plomo alguno al manto terrestre, a 0.95 valor máximo, que corresponde para  $A = \infty$ .

En el momento de formarse la corteza, el torio era 43.83, así es que  $\text{Pb/Th} = 57.75/43.83 = 1.32$ . Para la relación Pb/Th de la parte interna de la tierra, el numerador es como en el caso del uranio 57.75 A, y el denominador es  $438.3 + 482.1 A$ . La relación entre ambos varía de 0, en el caso límite de  $A = 0$ , a 0.12 si A fuese  $\infty$ , y la de todo el planeta es 0.12.

En el momento de formarse la corteza, todos los valores de las relaciones plomo-uranio y plomo-torio, correspondientes al interior de la tierra, son inferiores a los valores 2.75 y 1.3, que corresponden a la corteza, o sea, que para la misma cantidad del plomo, existía más uranio y más torio en la parte interna que en la externa del planeta.

c) **ACTUAL:** Conocido por los cálculos del subcapítulo VII-3 las cantidades de plomo, torio y uranio de la corteza y manto de nuestro planeta, se pueden establecer las correspondientes relaciones.

La relación plomo al uranio para la corteza es  $\frac{74.1}{11.4} = 6.5$ . Para el manto es  $\frac{85.9 + 160.0 A}{21.7 + 33.1 A}$  que para  $A = 0$  toma el valor de 4.0 y para  $A = \infty$  llega a 4.8. La relación de los totales de ambos es  $\frac{160.0 (1 + A)}{33.1 (1 + A)} = 4.8$ .

Estos límites son contrarios a la suposición de que la relación actual Pb/U, en el interior de la tierra, tiene que

ser mayor que 150, probablemente 250 veces la que corresponde al sial, por estar limitada esta relación por las leyes que regulan los procesos de desintegración natural.

En el caso de la relación plomo a torio, se tiene para la relación correspondiente a la corteza  $\frac{74.1}{37.0} = 2.0$ , para el

manto  $\frac{85.9 + 160.0A}{370.5 + 407.5A}$  que toma los valores extremos

0.23 y 0.34, según que no pasase cantidad alguna del plomo al manto o pasase el máximo posible. La relación Pb/Th, correspondiente al total del planeta, es

$$\frac{169.0 (1 + A)}{407.5 (1 + A)} = 0.34.$$

Todos los valores están resumidos en el adjunto cuadro y de su observación se pueden establecer las siguientes conclusiones:

Relaciones Pb/U y Pb/Th para diversas porciones en diferentes momentos

É p o c a	Porción	Plomo	Uranio	Torio	RELACIONES	
					Pb/U	Pb/Th
Formación uranio ...	Total	1 + A	85.9 (1 + A)	513.9 (1 + A)	0.012	0.002
Formación corteza ...	Corteza	57.7	21.0	43.8	2.7	1.3
	Manto	57.7A	39.9 + 60.9A	438.3 + 482.1A	0 → 0.95	0 → 0.12
	Total	57.7 (1 + A)	60.9 (1 + A)	482.1 (1 + A)	0.95	0.12
Hoy ...	Corteza	74.1	11.4	37.0	6.6	2.0
	Manto	85.9 + 160.0A	21.7 + 33.1A	370.5 + 407.5A	4.0 → 4.8	0.23 → 0.34
	Total	169.0 (1 + A)	33.1 (1 + A)	407.5 (1 + A)	4.8	0.34

1.<sup>a</sup> Al tomar como unidad el  $Pb^{204}$  contenido en la corteza se fijan las cantidades de uranio y torio, al formarse el uranio, en 86 y 514.

2.<sup>a</sup> Se valoran en 21 y 44 las cantidades de uranio y torio que existían al formarse la corteza y que pasaron a ésta.

3.<sup>a</sup> Las cantidades de uranio y torio que existen hoy en la corteza terrestre son 11 y 37, respectivamente.

4.<sup>a</sup> Se demuestra que las cantidades mínimas de cada uranio y torio existentes en el manto son 1.9 y 11.0, respectivamente, de dichos elementos en la corteza.

5.<sup>a</sup> Se demuestra que el cociente de las relaciones actuales Pb/U del manto y corteza varía de 0.62 a 0.75, en contra del supuesto de otros autores (68), de que varía de 150 a 250.

La causa de esta diferencia es que las deducciones que se habían hecho anteriormente por otros investigadores, lo fueron por simple razonamiento, sin tener en cuenta las leyes de desintegración y equilibrio radiactivo.

6.<sup>a</sup> Se ve la posibilidad de determinar el espesor de la corteza radiactiva, así como del coeficiente A, a partir de los balances energéticos del planeta.

7.<sup>a</sup> Se ve clara la limitación del plomo radiogénico, y análogamente la de todo el plomo. Para obtenerse 100 gramos del primero se necesitó que al formarse la corteza, hace aproximadamente 3,500 m. a., existiesen 128 gramos de  $U^{238}$ , 14 gramos de  $U^{235}$ , 290 gramos de torio y el desprendimiento de una energía cercana a  $0.8 \times 10^6$  calorías. El ritmo actual de generación anual de plomo es de  $1.4 \times 10^{-10}$  g. por gramo de uranio y  $3.6 \times 10^{-11}$  g. por gramo de torio, y el anual de helio es de  $1.2 \times 10^{-4}$  mm.<sup>3</sup> por gramo de uranio y  $2.3 \times 10^{-5}$  mm.<sup>3</sup> por gramo de torio.

## VII-6. Las reservas planetarias de los elementos radiactivos y su variación con el tiempo

Los elementos que se admiten como radiactivos naturales cabeza de familia son:

$K^{40}$ ,  $Rb^{87}$ ,  $In^{115}$ ,  $La^{138}$ ,  $Sm^{147}$ ,  $Lu^{176}$ ,  $Re^{187}$ ,  $Th^{232}$ ,  $U^{235}$  y  $U^{238}$ , ya que los posibles transuránidos encontrados en los minerales, como el  $Pu^{239}$ , lo son en proporción tan pequeña que no afectan significativamente a los valores teóricos correspondientes a la familia  $2n + 3$  en su proceso clásico.

Un punto importante es la cantidad que existe en la naturaleza de cada elemento radiactivo dentro de la correspondiente pléyade de isótopos. El que está en menor proporción,  $0.011 \times 10^{-2}$ , es el  $K^{40}$ , mientras que el  $Th^{232}$  lo está en el  $100 \times 100$ ; en el cuadro se indican estos valores.

Las cantidades actuales de los diversos elementos son difíciles de valorar; en una publicación anterior dedujimos que el contenido en uranio es del orden de  $10^{20}$  g., valor del mismo orden que el  $1.6 \times 10^{20}$  g. deducido de los datos de Adams (1923 y 1924). En este trabajo se indica que la cantidad actual de átomos de uranio es  $3.1(1 + A)$  y la de torio  $407.5(1 + A)$ , lo que da un peso del torio sensiblemente igual a  $4075/331$  veces el uranio que corresponde a  $12 \times 10^{20}$  g. de los  $5979 \times 10^{24}$  g. que pesa el planeta. Por las relaciones K/U se deduce para el potasio un peso de  $10^{24}$  g. Comparando las tablas recopiladas en la obra de Fersmann (42) se puede admitir que de los demás elementos existen las siguientes cantidades:  $Rb 10^{21}$ g.;  $In 6 \times 10^{18}$ g.;

La  $2 \times 10^{20}$  g.; Sm  $2 \times 10^{20}$  g., Lu  $4 \times 10^{19}$  g., y Re  $4 \times 10^{16}$  g. De estos elementos interesa conocer la proporción actual de los isótopos activos que figuran en el adjunto cuadro. Con la aplicación de las fórmulas de evolución deducimos la cantidad que existía de cada uno de los isótopos de estos elementos en los momentos que puede interesar, como son, al formarse los minerales más antiguos entre los de edad conocida, 2,000 m. a.; al solidificarse la corteza 3,300 m. a., y al formarse el uranio 4,600 m. a.

Contenido en nuestro planeta de los elementos radiactivos

Elemento	Período en $10^9$ a	P. H. S. O. EN $10^{19}$ g.					Proporción isotópica en %				
		Hoy	2,000 m. a.	3,350 m. a.	4,600 m. a.	Hoy	2,000 m. a.	3,300 m. a.	4,600 m. a.		
K <sup>40</sup>	1.5	110	270	497	872	0.011	0.027	0.050	0.088		
Rb <sup>87</sup>	6.4	270	275	279	283	27.2	27.5	27.9	28.2		
Pr <sup>145</sup>	600,000	5.7	5.7	5.7	5.7	95.8	95.8	95.8	95.8		
La <sup>138</sup>	120	0.178	0.178	0.178	0.178	0.089	0.089	0.090	0.090		
Sm <sup>147</sup>	320	30	30.2	30.3	30.4	15.1	15.1	15.1	15.1		
Lu <sup>176</sup>	24	1	1.060	1.102	1.143	2.5	2.6	2.7	2.8		
Re <sup>187</sup>	4,000	0.03	0.03001	0.03002	0.03003	62.9	62.9	62.9	62.9		
Th <sup>232</sup>	13.9	1,200	1,326	1,420	1,510	100	100	100	100		
U <sup>235</sup>	0.707	0.7	4.89	21	66	0.72	3.48	10.8	23.19		
U <sup>238</sup>	4.51	100	135.5	166	200	99.27	96.52	89.82	76.81		

En la fijación de la composición elemental universal, sirven de orientación los procesos de desintegración y no es conveniente dar valores de contenidos de elementos radiogénicos sin revisar el tiempo necesario para la formación. Al considerar el interesante trabajo de Brown (23), que es una de las aportaciones más completa y mejor recopilada sobre la abundancia relativa de los elementos, figuran para el plomo los siguientes valores aproximados:  $Pb^{204}$ -0.0041,  $Pb^{206}$ -0.064,  $Pb^{207}$ -0.061 y  $Pb^{208}$ -0.14, para el torio 0.012 y para el  $U^{235}$ -0.000018 y  $U^{238}$ -0.0026. Tomando estos valores como índice de edad se deducen para las formaciones del torio y uranio las siguientes edades:  $\frac{Pb^{208}}{Th} \rightarrow 0.6 \times 10^6$  m. a.,  $\frac{Pb^{206}}{U} \rightarrow 0.4 \times 10^6$  m. a. y  $\frac{Pb^{207}}{Ac U} \rightarrow 9.6 \times 10^6$  m. a. De estas tres edades se ve que las dos primeras son concordantes, pero la última es del orden de 20 veces las anteriores, que no es admisible; pero el punto de más importancia es el de no poderse admitir un transcurso de tiempo de millones de m. a. para la formación del plomo radiogénico, ya que está demostrado que es solamente del orden de miles de m. a. Razonamientos análogos se pueden hacer con valores de otros autores referentes a éstos o a otros elementos radiactivos y radiogénicos, razón por la que insistimos en la conveniencia de no prescindir de los procesos de desintegración en la fijación de los valores elementales universales.

## VIII. EL CALOR DE ORIGEN RADIATIVO

La radiactividad de las rocas da lugar a la producción de calor y su distribución desigual origina variaciones en el grado geotérmico. El calor radiactivo se puede considerar como la aportación fundamental a la parte activa del balance energético terrestre.

### VIII-1. Grado geotérmico

Existe en la corteza terrestre una zona que tiene temperaturas afectadas por las variaciones diarias y anuales de la superficie del suelo, denominada de oscilación térmica, que es como máximo de 20 m. de espesor; pasada ésta, se observa un continuo aumento de la temperatura con la profundidad. Recibe la denominación de grado geotérmico normal, para formaciones horizontales, la profundidad que se debe descender para que la temperatura aumente un grado, la cual fué fijada por Koengsberger en 34 m.

Estas observaciones ponen de manifiesto dos hechos; el aumento de la temperatura con la profundidad y las variaciones locales de este aumento. Existen lugares de

un grado geotérmico elevado, o sea que requieren un descenso mayor que el normal, como en Schladenbach, 36.8 m., y bajo, como en Pitzbuhl (Magdebourg) de 25.1. Estas diferencias se pueden suponer debidas a seis causas fundamentales: 1.<sup>a</sup> Origen volcánico. 2.<sup>a</sup> Movimientos tectónicos. 3.<sup>a</sup> Corrientes acuosas y gaseosas. 4.<sup>a</sup> Reacciones químicas. 5.<sup>a</sup> Reacciones nucleares y 6.<sup>a</sup> Conductividad térmica de las rocas. No se entra en detalles de cada una de ellas, por ser del dominio general de los geofísicos, desde las primeras, que dan lugar a temperaturas elevadas a un metro de profundidad, como ocurre en la Montaña de Fuego de Yáiza, en la isla de Lanzarote (Canarias), hasta las últimas, donde existen diferencias grandes en la conductividad, como en el caso de la magnetita, que es cien veces la correspondiente a determinadas arenas finas.

Las observaciones geotérmicas se deben efectuar con termopares o con termómetros de máxima, con una precisión mínima de la décima de grado, a dos metros o más de distancias de los hastiales de los pozos, túneles, galerías, cámaras de explotación, etc.; para ello se introducen en taladros practicados con este fin, donde deben estar alojados los termopares o termómetros, desde media hora antes de efectuar las lecturas.

Durante los años 1930 a 1933 hice detenidas observaciones termométricas en la cuenca potásica catalana, principalmente en Cardona, que fueron completadas con otras minuciosamente efectuadas, bajo mi orientación, por el Dr. Masachs durante el curso 1943-44. De ellas se sacaron consecuencias, que confirman las anteriormente establecidas.

*Grado geotérmico medio en la cuenca potásica catalana*

Zona minera	Profundidad alcanzada en m.	Grado geotérmico medio en m.
Cardona .....	720	31.2
Suria .....	455	28.4
Balsareny .....	491	28.8
Sallent ....	325	26.4

En todos estos grados geotérmicos, se observa un valor considerablemente menor al normal, debido al calor generado por la desintegración del potasio, quedando reducidos en las zonas ricas en potasio a valores del orden de la decena de metros, y en algunos casos inferiores, cuando simultáneamente coinciden con zonas trastornadas, como en el borde de Cardona, que todavía está en continuo movimiento, como se aprecia en el revestimiento de sus pozos. Estas observaciones conducen a la conclusión de que es una realidad el calor producido por los procesos radiactivos de la corteza y la enorme energía desarrollada por los reajustes tectónicos a los que acompaña un desprendimiento de calor.

El calor de origen radiactivo se ha estudiado en muchas rocas, y para los grupos fundamentales tiene los siguientes valores:



*Calor de origen radiactivo*

GRUPO	Cal/g.s en 10 <sup>-18</sup>	Cal/cm. <sup>3</sup> s en 10 <sup>-18</sup>	Cal g/a. en 10 <sup>-6</sup> debido al		
			U	Th	K
Siálico ... ..	3.7	8.3	3.8	7.5	2.7
Granítico ... ..	1.9	5.7	2.1	5.0	0.8
Peridotítico ... ..	1.3	4.3	1.5	3.1	0.3
Sedimentario ... ..	0.54		0.9	0.7	0.1

La mayor o menor concentración de las distintas formaciones puede hacer variar el valor del grado geotérmico, como en el caso de las formaciones potásicas, e incluso se pueden trazar las isogeotermas para localizar una zona de mayor radiactividad, movimiento, calor volcánico, etcétera. Considerado el planeta de una manera general, pasados los primeros kilómetros de profundidad, se debe admitir como prácticamente uniforme el grado geotérmico.

### VIII-2. Balance energético terrestre

Si se repasan las diversas teorías existentes sobre las fuentes de energía terrestre, se ve, en el estado actual de la ciencia, la posibilidad de admitir satisfactoriamente como principal la correspondiente a los procesos radiactivos.

Para efectuar estos estudios, se deben considerar las partes pasiva y activa del problema. La parte pasiva del balance cuenta con tres sumandos principales: *a*), la radiación de la Tierra al espacio; *b*), los fenómenos orogénicos, y *c*), los fenómenos volcánicos. Como activa o fuentes principales de la energía de la corteza terrestre existen

dos: *A*), el calor liberado por el núcleo, y en menor proporción por el manto terrestre, y *B*), la energía producida por la desintegración de los átomos radiactivos.

En estos estudios energéticos, es necesario adoptar una unidad para medida de tiempo. En los estudios de Noetzlin (139), que son de lo más interesante y que adoptamos como directriz, se considera el ciclo orogénico, al que atribuye Holmes, en sus «Principios de Geología Física», una duración media de 200 m. a.

**1. Consumo de energía.**—En la parte pasiva del balance energético existe un sumando fundamental, que es la radiación terrestre; los dos restantes, de menos importancia, son entre sí del mismo orden.

**A) RADIACIÓN TERRESTRE.**—Un observador situado en la corteza de nuestro Planeta se daría cuenta de que el sol produce un calentamiento que oscila entre un máximo diurno y un mínimo nocturno, que estos máximos y mínimos están sujetos a una periodicidad anual y que sus variaciones profundizan sólo unos metros en la corteza del Planeta, dado que después de una decena de metros se advierte una constancia de temperatura durante todo el año.

Simultáneamente con esta constancia anual, se aprecia que las variaciones anuales antes apuntadas, así como las condiciones térmicas en general, difieren poco desde la aparición de los primeros seres vivos en nuestro Planeta.

Los biólogos, botánicos y zoólogos, sostienen que los seres del cambriano no podrían resistir temperaturas superiores a los 100°. Este descenso, desde las temperaturas máximas aptas para la vida de aquellos seres inferiores hasta las actuales, tuvo lugar durante un espacio de tiempo que oscila entre 500 y 600 m. a.

Se puede admitir que la temperatura terrestre fué prácticamente estable durante este formidable lapso de tiempo, aunque no lo parezca aparentemente, por la aparición de glaciaciones y variaciones en la ubicación de éstas.

En resumen: la Tierra experimentó un lentísimo enfriamiento, existiendo una continua emisión de flujo calorífico de  $1.3 \times 10^{-6}$  cal/cm.<sup>2</sup> seg. (27), que durante el ciclo orogénico de 200 m. a., y para la superficie total del Globo, de  $5 \times 10^{18}$  cm.<sup>2</sup>, da una radiación de  $(41 \pm 4) 10^{27}$  cal/ciclo.

b) FENÓMENOS OROGÉNICOS.—Es un hecho observado que, en muchas ocasiones, los grandes anticlinales proceden de enormes geosinclinales, zonas vastísimas donde continuamente existe una aportación de materiales, y como consecuencia de este mayor peso se produce el correspondiente hundimiento para alcanzar el equilibrio isostático, que se puede suponer ocurre a unos 100 Km. de profundidad, dando lugar a formaciones sedimentarias de centenares de metros de espesor. Como consecuencia de los empujes laterales posteriores, estas formaciones se levantan unos kilómetros, que se puede suponer a los efectos del cálculo sean, como término medio del orden de 5, venciendo la resistencia opuesta por la atracción terrestre, al mismo tiempo que se invierten considerables energías en los rozamientos que acompañan al fenómeno. Al considerar que el fenómeno hipotético cubre una zona con una anchura en el Ecuador de 1/200 del mismo y una longitud de un semimeridiano, se puede calcular la masa del bloque puesto en movimiento con una densidad 3, que es  $1/2 \times 20,000 \times 200 \times 100 \times 3 \times 10^{15} = 6 \times 10^{28}$  g., con un trabajo para levantar los 5 Km., teniendo en cuenta un valor medio de la gravedad de 0.0990, de  $6 \times 10^{25}$  jul.

Los fenómenos de rozamiento son de gran importancia,

como se ve, por la transformación de centenares de kilómetros cúbicos de masa de granito en neis granitoide, los fenómenos de milonización, etc., trabajos enormes del orden de 1/3, de los que son necesarios para la liquefacción de los cristales, o sea 140 jul/g., que para la masa considerada de  $6 \times 10^{23}$  g. dan  $9 \times 10^{25}$  jul.

El conjunto de ambos trabajos es de  $12 \times 10^{25}$  jul., que equivale, aproximadamente, a  $3 \times 10^{25}$  cal.

c) FENÓMENOS VOLCÁNICOS.—El magma da lugar a dos fenómenos, que reciben diferentes nombres. Por un lado se considera el plutonismo, que estudia cuanto se relaciona con los movimientos del magma en profundidad, y por otro el vulcanismo, que se refiere a la ascensión del magma en la corteza.

Los fenómenos magmáticos están íntimamente ligados con los orogénicos antes mencionados; la ascensión profunda del magma se verifica principalmente al comienzo del ciclo orogénico, donde hay gran actividad volcánica o ascensión magmática en las capas superiores y durante los paroxismos, para dar lugar a la actividad volcánica que le sigue.

Es frecuente, en los cortes geológicos correspondientes a terrenos hipogénicos, la representación de lacolitos y batolitos procedentes de masas líquidas que tenían menos densidad que las sólidas que les rodeaban, y que por razones isostáticas tendían a ascender, perdiendo fluidez conforme se enfriaban, llegando a cristalizar en las fracturas, sin que surgiesen al exterior. Existen otros casos, como el del Vesubio, que llegó a dar una columna de lava líquida de más de 2,000 metros de altura durante día y medio.

Es necesario empezar por valuar la superficie correspondiente a las manifestaciones volcánicas que tienen

lugar durante un ciclo orogénico, operación que presenta varias dificultades, por no asomar a la superficie en muchas ocasiones, por la gran extensión que ocupa el mar, causa de que quedan muchas como volcanes submarinos, y por presentarse casos de aparentes batolitos que son sencillamente rocas sedimentarias que, como consecuencia de la presión reinante, se han convertido en granitos.

Sirviendo como término medio de la estimación superficial el criterio de valoración de Daly (32\*) para el terciario continental, al que atribuye  $5 \times 10^6$  Km.<sup>2</sup> de superficie de la masa volcánica, y como para los efectos de cálculos energéticos también se han de considerar los volcanes submarinos, se puede admitir como superficie total durante un ciclo orogénico  $10^7$  Km.<sup>2</sup>, que equivale al 2/100 de la superficie de nuestro planeta.

Falta por estipular la tercera dimensión de estas masas, que es su espesor, no siendo exagerado considerar, como hacen algunos autores, un espesor medio de un kilómetro, lo que da lugar a una ascensión de  $10^7$  Km.<sup>3</sup>/ciclo orogénico.

De esta fracción del magma se han de considerar en los balances energéticos dos aspectos, que son, el mecánico y el térmico. Desde el punto de vista mecánico, estos materiales, que tuvieron que pasar desde  $1,500^\circ$  a la temperatura del ambiente, se les puede suponer una ascensión de 100 Km., que con una densidad 3, valor de g. 0.099 y rendimiento 1/3, da  $10^{26}$  jul/ciclo orogénico, que equivale a  $2.4 \times 10^{25}$  cal/ciclo.

El calor radiado por  $10^7$  Km.<sup>3</sup>, al descender su temperatura media en  $1,500^\circ$ , es aproximadamente de  $3 \times 10^{15} \times 1,500 \times 10^7 = 4.5 \times 10^{25}$  jul. =  $10^{25}$  cal/ciclo.

El conjunto de la energía necesaria para los fenómenos volcánicos durante un ciclo orogénico es del orden de  $3 \times 10^{25}$  cal., o sea parecida a la de los fenómenos orogé-

nicos, ambas despreciables frente a la radiación terrestre, en la que indirectamente se puede considerar englobado el calor radiado por las erupciones volcánicas.

Se aprecia en este pasivo de la potencia terrestre, una elevada diferencia entre la cantidad consumida por radiación, que es la valorada con más precisión, respecto a la necesaria para los fenómenos orogénicos y volcánicos, que sólo se debe admitir como una orientación:

- a) Radiación terrestre  $(41 \pm 3) \times 10^{27}$  cal/ciclo.
- b) Formaciones orogénicas  $0.03 \times 10^{27}$  cal/ciclo.
- c) Fenómenos volcánicos  $0.03 \times 10^{27}$  cal/ciclo.

Como se indicó anteriormente, alguno de estos fenómenos orogénicos y volcánicos dan lugar a transformaciones en calor que, por su pequeñez, se deben considerar integrados en la parte atribuida a la radiación terrestre.

**2. Manifestaciones energéticas.**—Se han hecho varios estudios sobre posible origen de la energía eruptiva, mereciendo especial mención los de Noetzli (139), que considera las hipótesis de alimentación continua, del enfriamiento del magma, energía química molecular, procesos nucleares, de los cuales, según los razonamientos de dicho autor, los dos que satisfacen el punto de vista energético, son: alimentación continua por magma caliente y los procesos nucleares.

A las hipótesis de la alimentación continua, surgen dificultades de orden petrológico, tanto desde el punto de vista de una diferenciación fraccionada por recristalización, como si se considera la diferenciación dinámica, no tan lenta como la anterior.

A la hipótesis de procesos nucleares, la objeción que se les puede poner es que las reacciones exoenergéticas de elementos muy ionizados no están consideradas como

naturales en el seno de nuestro planeta, pero quedan los procesos de desintegración natural por vía normal del uranio, torio, potasio, etc., a los que se les debe atribuir la casi totalidad de energía propia del planeta.

A) FLUJO DEL CALOR INTERNO DEL GLOBO.—Es indudable que la superficie terrestre pasó por los estados gaseoso y líquido, y hoy se encuentra en el sólido. Simultáneamente con estos cambios, se producía un descenso en la temperatura terrestre al mismo tiempo que una irradiación de flujo calorífico. Se enfriaba el planeta de una manera acentuada en la corteza, hasta alcanzar un estado estable, donde se aprecia un núcleo caliente separado del ambiente externo por una capa cristalina muy aislante térmicamente. A partir de este momento, la corteza alcanzó una temperatura poco superior a la actual.

La idea de que existe un flujo calorífico, propio del enfriamiento del Globo, es una realidad. Si se tiene en cuenta que durante el último ciclo orogénico no fué posible un enfriamiento medio de la corteza superior a la decena de grados, dado que la constitución biológica de muchos de los seres que la habitan en el triásico es parecida a la actual, subsistiendo hoy sus especies, y si se tiene en cuenta que de los  $6 \times 10^{27}$  g. de la Tierra, el calor medio específico es 0.25 cal/g., el flujo correspondiente al último ciclo orogénico sería, como máximo,  $10 \times 0.25 \times 6 \times 10^{27} = 1.5 \times 10^{28}$  cal., que es del orden de la tercera parte de la energía radiada.

B) CALOR PRODUCIDO POR LA DESINTEGRACIÓN DE LOS ÁTOMOS RADIATIVOS.—El flujo del calor interno del Globo es menor del tercio, y quizá del cuarto, de la energía radiada; esto obliga a buscar otro manantial de energía para las

$3 \times 10^{28}$  cal/ciclo restantes. A nuestro juicio, lo es la desprendida por los elementos radiactivos durante la desintegración.

Se pueden suponer las dos superficies de discontinuidad más externas reconocidas por métodos sísmicos que, según Bullen (28\*), están a las profundidades medias de 14 y 42 Km. La más exterior, granítica, descansando sobre la inmediata basáltica, de 28 Km. de espesor. Los calores generados por las diversas rocas se comprueba son menores conforme aumentan las investigaciones; así, por ejemplo, los valores atribuidos al grupo granítico han pasado de  $2 \times 10^8$  a  $0.3 \times 10^8$  cal/g. ciclo, y para las rocas basálticas de  $0.6 \times 10^8$  a  $0.16 \times 10^8$  cal/g. ciclo (41.86).

En la valoración del calor generado por las capas graníticas se ha de tener en cuenta que si en la superficie se observan manifestaciones de rocas básicas, éstas serán mucho mayores en la parte inferior de la capa ácida; por lo tanto, se puede tomar como valor probable el de  $0.37 \times 10^8$  cal/g. ciclo, con una densidad, según nuestras valoraciones, de 2.6. Para las capas básicas se puede suponer un desprendimiento máximo de calor de  $0.25 \times 10^8$  cal/g. ciclo, y una densidad de 2.9.

El cálculo del calor desprendido por la capa externa es:

$$\frac{4}{3} \times \pi (6,370^3 - 6,356^3) \times 10^{15} \times 2.6 \times 0.37 \times 10^8 = \\ = 0.73 \times 10^{28} \text{ cal/ciclo.}$$

El valor desprendido por la capa básica es:

$$\frac{4}{3} \times \pi (6,356^3 - 6,228^3) \times 10^{15} \times 2.9 \times 0.25 \times 10^8 = \\ = 1.01 \times 10^{28} \text{ cal/ciclo.}$$

El calor desprendido por la capa ácida es los dos tercios de la correspondiente a la básica, dando entre ambas:  $1.7 \times 10^{28}$  cal/ciclo, que es la mitad de la asignada a la

radiación terrestre. Además de esta cantidad se ha de tener en cuenta, según quedó demostrado anteriormente, que la actividad total del manto terrestre es, como mínimo, doble que la actividad de la corteza, que corresponde a un total para el planeta superior a  $5 \times 10^{28}$  cal/ciclo. Todos los cálculos están hechos desde un punto de vista desfavorable para la producción del calor, ya que se ha supuesto limitada la corteza radiactiva a los 42 Km. de espesor, mínimo que puede tener, y que no pasó cantidad alguna de plomo al manto, al formarse la corteza, así como una considerable disminución de la radiactividad con la profundidad por unidad de volumen, aunque la total sea doble.

Como orientación del balance activo, se pueden admitir los siguientes valores:

- A) Flujo del calor interno del Globo  $15 \times 10^{27}$  cal/ciclo.
- B) Calor liberado por desintegración atómica  $50 \times 10^{27}$  cal/ciclo.

Comparando ambos balances, se ve es algo superior que el activo, el pasivo; por lo tanto, se pueden establecer las siguientes consecuencias:

- 1.<sup>a</sup> La radiactividad de la corteza por unidad de masa, tiende a disminuir considerablemente con la profundidad.
- 2.<sup>a</sup> La energía liberada en los procesos radiactivos naturales se puede considerar como suficiente para hacer frente a todas las necesidades energéticas del Planeta.

### VIII-3. El calor de origen radiactivo

Se ha estudiado en este mismo capítulo (VII-2, 2-B) el calor actual de origen radiactivo, partiendo de mediciones efectuadas en rocas, y consideraciones sobre el espesor de

las formaciones, que conducen a  $50 \times 10^{27}$  cal/ciclo. En este subcapítulo se cambia de orientación y efectúa la valoración teórica en diferentes momentos a base del contenido en elementos radiactivos y el calor generado por ellos; en la valoración actual se llega a  $60 \times 10^{27}$  cal/ciclo, cifra del mismo orden que la anterior, dada la precisión con que se opera en la valoración de la proporción de los elementos en el planeta, por lo que no están en oposición, desde el punto de vista de los resultados, las hipótesis sostenidas en el subcapítulo anterior y en éste.

Para saber en cualquier momento el calor generado durante un año por desintegraciones radiactivas, es preciso conocer el generado por cada gramo de isótopo activo. Para deducir el calor generado al año, es preciso conocer la energía media de cada emisión en Mev., multiplicarla por el número de desintegraciones de un gramo durante un año y por el coeficiente de conversión a calorías  $0,382 \times 10^{-13}$ . Caso de tratarse de una cadena de desintegraciones en equilibrio radiactivo, como sucede con las familias largas, se toma para valor de la energía la suma de las medias de cada proceso y como número de desintegraciones anuales las que corresponden al elemento cabeza de familia.

Efectuados los correspondientes cálculos, se obtienen como calores teóricos generados al año, en calorías por gramo de cada isótopo radiactivo, los siguientes:

*Calor generado al año en cal/a. por cada gramo de elemento*

Elemento	K <sup>40</sup>	Rb <sup>87</sup>	In <sup>115</sup>	La <sup>138</sup>	Sm <sup>147</sup>	Lu <sup>176</sup>	Re <sup>187</sup>	Th <sup>232</sup>	U <sup>235</sup>	U <sup>238</sup>
Calor....	0.27	0.00023	0.00000021	0.00059	0.00080	0.0019	0.00000061	0.184	4.25	0.716

Por el cuadro se aprecia la existencia de elementos que originan muy poco calor, unos por tener un período muy elevado, como el  $\text{In}^{115}$ , y otros por su proceso poco energético, como sucede al  $\text{Re}^{187}$ . En el caso del  $\text{U}^{235}$ , se da la circunstancia de tener elevada probabilidad de transformación y gran energía; por ello da lugar a 4.25 cal/a. por gramo de  $\text{U}^{235}$  con sus descendientes en equilibrio.

Como en el subcapítulo VII-6 se estableció el contenido de cada isótopo radiactivo en cuatro de los momentos esenciales, al multiplicarlos por los valores del cuadro anterior se obtiene el calor generado por ellos hoy, al formarse el mineral más antiguo, al solidificarse la corteza terrestre y al organizarse los núcleos del uranio en la materia que después había de constituir la Tierra.

*Calor de origen radiactivo del planeta en  $10^{15}$  cal/a*

ELEMENTO	Hoy	2,000 m. a.	3,350 m. a.	4,600 m. a.
$\text{K}^{40}$ .....	29,360	73,000	135,000	235,000
$\text{Rl}^{187}$ .....	62.1	63.2	64.2	65.1
$\text{In}^{115}$ .....	0.0012	0 0012	0.0012	0.0012
$\text{La}^{138}$ .....	0.105	0 105	0.105	0.105
$\text{Sm}^{147}$ .....	24	24	24	24
$\text{Lu}^{176}$ .....	1.9	2.02	2.10	2.18
$\text{Re}^{187}$ .....	0.00002	0 00002	0.00002	0.00002
$\text{Th}^{232}$ .....	220,800	243,900	261,300	277,800
$\text{U}^{235}$ .....	2,975	20,780	89,250	280,500
$\text{U}^{238}$ .....	71,600	97,000	188,800	142,200
Total .....	324,000	434,000	673,000	935,000

En este cálculo sólo existen actualmente dos elementos que desempeñan papel significativo, que son el  $\text{Th}^{232}$  y el  $\text{U}^{235}$ , mientras que en el pasado hubo otros que también tuvieron parte activa en el caldeo de la masa terrestre, fundamentalmente el  $\text{U}^{238}$  y el  $\text{K}^{40}$ .

De las cifras anteriores se establecen algunas conside-

raciones de interés: desde hace 3,300 millones de años, el calor generado no disminuyó tan rápidamente como suponen muchos geofísicos. El  $\text{K}^{40}$ , por ejemplo, generaba al formarse la corteza terrestre  $135 \times 10^{18}$  cal/a., o sea del orden de 1/3 del producido actualmente por todos los elementos radiactivos, como se ve considerablemente inferior a la cifra 20 dada por algunos autores para aquel momento (170), quizá por atribuir al  $\text{K}^{40}$  una probabilidad de transformación demasiado grande. El calor radiogénico total, hace 3,300 millones de años, era ligeramente superior al doble del actual; esta disminución del calor, a la que acompañaba un lento enfriamiento de la materia, que ya hacía varios millones de años que venía experimentándolo, fué la causa de que comenzara la solidificación de la corteza.

El calor radiactivo generado al formarse los núcleos del uranio, era considerablemente mayor que el consignado en el cuadro anterior, debido a la desintegración de las familias hoy extinguidas, que tenían la particularidad de corresponder a períodos pequeños, y por ese motivo el calor generador era extraordinariamente significativo en el balance. Como ejemplo, sólo nos referimos a la familia  $4n + 1$ ; el  $\text{Bi}^{209}$  suponemos procede del  $\text{U}^{233}$  y que el contenido de éste, aplicando los valores recopilados por Suess (159\*), fué de  $100 \times 10^{18}$  g., o sea del orden del uranio existente en la actualidad. Como cada gramo de  $\text{U}^{233}$  con sus descendientes en equilibrio generaba al año 17,100 c., cantidad considerable por el pequeño período de  $160 \times 10^3$  a., el total de  $\text{U}^{233}$  existente daba lugar a la enorme cifra de  $171.000.000 \times 10^{15}$  c/a., verdaderamente formidable, que la urano-física no tenía en cuenta en los balances térmicos.

Además de este calor se debe tener en cuenta el originado en aquel entonces por las evoluciones de los trans-

uránidos Np, Pu, Am, Cm, Bk y Cf, que por sus períodos pequeños dieron lugar a que figurasen el Th<sup>232</sup>, U<sup>235</sup> y U<sup>238</sup> como cabezas de las familias radiactivas, aunque sólo sean aparentemente. Estos elementos no tienen importancia en los balances actuales, porque además de existir en pequeñas cantidades, se están generando en la actualidad, a costa de partidas que figuran en nuestro balance por otros conceptos.

## IX. EDAD POR MÉTODOS RADIATIVOS

Las determinaciones de edades por métodos radiactivos se deben agrupar en uranológicas y geológicas. Las edades uranológicas corresponden a las determinaciones desde la creación de la materia, seguida de la formación de elementos y astros, hasta que en nuestro planeta, ya individualizado, comenzó la solidificación de la corteza, momento considerado por la mayor parte de los investigadores como edad de la tierra. Las edades geológicas corresponden al tiempo transcurrido hasta nuestros días, desde las primeras manifestaciones sólidas de la corteza. En estas últimas se puede apreciar una variedad por sus características, que corresponde a las edades arqueológicas.

### IX-1. Edades uranológicas

Los temas de edades uranológicas están íntimamente ligados con otros de fundamental interés; comienzan, como se indicó, con la creación de la materia, se pasa a la formación de los núcleos de los elementos, su distribución en el cosmos, organización del sistema solar e individualización de la Tierra.

Es preciso hacerse a la idea de las magnitudes que se utilizan en estos problemas. La unidad del millón de años puede sorprender, e incluso la del ciclo geológico, que se considera de 200 millones de años, pero no debe ser así. Con potentes telescopios, como el grande de Mount Wilson, se observan astros a distancias superiores a 150 millones de años, y se aprecia, por los estudios astrofísicos, que no tiene diferencias relativas esenciales el número de los núcleos de los elementos pesados, respecto al correspondiente a los astros situados a distancias de miles de años. La flora y fauna terrestre de hace 200 millones de años, tampoco presentan caracteres que demuestren una diferencia constitucional considerable con nuestro planeta. Ambas consideraciones permiten aceptar como de poca importancia, para la organización universal, un lapso de 200 millones de años.

El acto fundamental de la Creación, desde el punto de vista material, fué la creación de la materia, como se dijo anteriormente, en su doble aspecto de masa y energía. De esta materia se formaron los núcleos atómicos; por ello la Creación tuvo lugar antes que el núcleo más antiguo, de edad mensurable o radiactivo natural. Por los razonamientos del subcapítulo VI-I, se vió la posibilidad de aceptar como más antiguo el K; para su edad hay valoraciones como la de Bramley (20), de 1938, que le asigna  $2 \times 10^4$  m. a. a base del equilibrio del  $K^{40}$  con el  $Ca^{40}$ ; la nuestra (116), hecha a base de suponer todo el  $Ca^{40}$  radiogénico y con constantes más modernas, le corresponde un valor próximo al anterior,  $1.9 \times 10^4$  m. a.; por razonamientos análogos estableció Brewer (21), en el año 1938, la edad de  $1.06 \times 10^4$  m. a. para el potasio y  $1.5 \times 10^4$  m. a. para el rubidio.

Creada la materia, sigue la formación de los núcleos de

los elementos; su ordenación duró desde antes de la modelación del potasio hasta que se ultimó la configuración del más complicado de los transuránidos, que tuvieron existencia real por síntesis de la materia, a expensas de la energía disponible que había en su medio. Para fijar este límite cercano quedaron unos testigos, las series radiactivas largas; además, existen los escalones intermedios, correspondientes a otros elementos.

De los elementos intermedios, son datos interesantes los correspondientes a la evolución del rubidio y lutecio, que corresponden a valores de 19,000 y 18,000 m. a. Para establecer la edad de formación del uranio en 4,600 m. a. supusimos radiogénicos los plomos de masa 206 y 207, después de considerar las correcciones debidas a la desigual distribución de la materia en la corteza y manto terrestre.

Formados todos los núcleos de los elementos, ocurre el caos elemental de la materia, que da lugar a la formación rápida de los átomos y de los primeros astros, y después de seguir los procesos que dicta la astrofísica, se formó nuestro planeta, y, por último, la corteza, que tuvo lugar hace 3,300 m. a.

Por las edades que hemos aceptado, se aprecia nuestra inclinación a desechar la escala astrofísica larga, que da edades para el tiempo necesario para la formación de estrellas en su estado actual a partir de la materia primitiva, del orden de  $10^{12}$  a  $10^{13}$  años. Dentro de la escala larga existen muchas tentativas de fijación del tiempo transcurrido desde la formación de los diversos astros.

Entre los cálculos de edad de la materia figura el de Chalmers (31), de 1935, en que se efectúa un doble razonamiento para fijar su edad a base del cambio con el tiempo de las constantes eléctricas y gravitacionales que le con-



ducen a edades de  $10^{13}$  y  $10^{10}$  años. Son varias las tentativas de fijación de las edades por medio del plomo, que en realidad deben considerarse como el momento más cercano de las edades uranológicas; en este caso está Meyer (129), que en 1938, deduce para la Tierra, al suponer radiogénicos los plomos 206 y 207, la edad de 4,500 m. a. Según nuestro criterio, es para el final de la formación de los núcleos de los elementos, o sea, para el momento en que se terminó la formación elemental; al mismo momento se tiene que referir el valor de Wilkins (180) de 3,085 m. a. (este cálculo tiene un error (93), que subsanado da una edad de 3,780 m. a.), que no es correcto por partir de la hipótesis que originariamente estuvieron en equilibrio radiactivo los uranios de masa 235 y 238. Según nuestros cálculos ocurrió hace 3,600 m. a., o sea 1,000 m. a. después de formarse los dos uranios y 300 m. a. antes del comienzo de las manifestaciones sísmicas. El mismo tema fué estudiado por Gerling (48), suponiendo radiogénico todo el plomo terrestre y llega a una edad mínima para el comienzo de la desintegración, o sea, para la formación del uranio, de 3,230 a 3,950 m. a. También intentó Suess (159\*\*), determinar la distancia máxima en tiempo, al momento de la formación de los elementos, dedujo los valores 4,000 y 5,400 m. a., que no son muy discordantes, pero sus razonamientos no los consideramos excesivamente correctos, mientras admite para el límite mínimo de edad, que los elementos inestables de cada familia son más abundantes que los estables, al pasar al límite máximo opina lo contrario para la relación  $U^{235}/Pb^{207}$ , así como por la manera de relacionar las familias diferentes  $4n + 1$  y  $4n + 3$ .

Se han hecho varias tentativas para la fijación del momento en que empezó a formarse la corteza terrestre. Entre los trabajos interesantes figura el de Shapley (157), que

por extrapolación de datos radiactivos fija el comienzo de la formación de la corteza terrestre en 3,000 m. a. La edad de la corteza fué determinada en 1935 por Gutenberg (55), entre 1,000 y 10,000 m. a., al estudiar los cambios de temperatura y las propiedades elásticas de la Tierra.

Se puede considerar como un adelanto bastante preciso el valor deducido por Holmes en 1933, entre 2,000 y 3,000 m. a., como edad de la Tierra y del sistema solar, si se admite como edad de nuestro planeta la formación de la corteza. En 1937, y por procesos radiactivos, fija Starick (158) para edad de la corteza de 3,000 a 4,000 m. a., y el mismo año da Eddington (37) la cifra de 5,000 m. a. como máximo para la formación de los átomos por transmutación del hidrógeno. Manifestaciones análogas son las de Bok y Watson (19) al sugerir que las estrellas y galaxias no pueden haber existido en la forma presente un tiempo superior aproximadamente a los 2,000 m. a. Recientemente hacen una crítica acertada de la escala larga, Bullard y Stanley (1949) (28). Como resumen, se agrupan los diversos datos en el cuadro siguiente:

MOMENTO	EDAD
Creación materia .....	$> 20 \times 10^3$ m. a.
Formación $K^{40}$ .....	$\leq 19 \times 10^3$ m. a.
— $Rb^{78}$ .....	$\leq 19 \times 10^3$ m. a.
— $Lu^{176}$ .....	$\leq 8 \times 10^3$ m. a.
— U .....	$\leq 4.6 \times 10^3$ m. a.
— Corteza .....	$3.3 \times 10^3$ m. a.

## IX-2. Edades geológicas

Establecido que las primeras manifestaciones sílicas tuvieron lugar hace 3,300 m. a., el paso inmediato y primero en el campo de las geológicas, es la localización de los ejemplares más antiguos. Parece ser, y lo confirma Ahrens (1947) (2), que las zonas conocidas como más antiguas de la corteza tienen unos 2,000 m. a. De esta enorme antigüedad son las pegmatitas de Karelia y las del sudeste de Manitoba.

La zona de Karelia fué objeto de un estudio detenido por los geofísicos especializados en el campo de edades por métodos radiactivos, como se ve por las siguientes aportaciones. Las edades de las uraninitas de los diques pegmatíticos de Sinyaya Pala, de Karelia del Norte, fueron valoradas en más de 2,000 m. a. por Nenadkevich en 1926; posteriormente, les asigna Fersman 1,950 m. a.; en 1931 fué aceptado por la Comisión del Tiempo Geológico el valor de 1,930 m. a.; estudios posteriores de Khlopin y Vladimirova (83), en los que se tiene en cuenta la corrección por la desintegración del AcU, dan como valor 1,600 m. a., que lo es al mismo tiempo para las uraninitas de Chornaya Salma y de Samoilovich Vein.

En 1935, al estudiar Labuntzov la edad geológica de las monacitas pertenecientes a las pegmatitas de Chornaya Salma, de Karelia del Norte, le asigna por evolución del torio una edad de 2,100 m. a.; en revisiones posteriores de Khlopin y Vladimirova se le adjudica una edad de 1,970 m. a., y a la de Samoilovich de 1,870 m. a.

En 1945, efectúa Holmes (65) un nuevo estudio de la edad de las uraninitas con la adición de algunas técnicas, para la corrección de pérdidas de elementos y contaminación, y deduce 1,780 m. a. como edad de la uraninita de las pegmatitas de Marealbiam del Escudo Báltico, en el nordeste de Karelia; estas edades las revisa en 1948 (69), y confirma su valoración anterior con 1,765 m. a. Al existir escisión espontánea del uranio, con una probabilidad de transformación  $\lambda_s = 5.1 \times 10^{-17} \text{ a}^{-1}$ , con un 14 % de escisiones producidas por neutrones lentos que originan xenón estable, condujeron a Khlopin y sus colaboradores la idea de utilizar este elemento como indicador de edad, lo aplicaron a las uraninitas de Chernaya Salma, de Karelia, obteniendo una edad de 1,680 m. a.; en el caso de que la evolución a xenón fuese de un 19 %, la edad quedaba reducida a 1,200 m. a., valor menor del real.

Los minerales de Manitoba son estudiados por Holmes en 1945 y asigna 1,985 m. a. para las uraninitas de Hurom Claim, y 1,990 m. a. para las monacitas de la misma procedencia; al revisar estos valores en 1948, el mencionado investigador fija en 1,985 m. a. la edad de las pegmatitas manitobianas de la zona del Lake-Wiorhipeg River, en el SE. de Manitoba. De esta zona efectúa Evans en este año el estudio de la evolución Rb/Sr y le conduce a fijar una edad de 2,400 m. a. (41 bis). Se ha estudiado análogamente la zona antigua de Suecia; unos investigadores lo efectuaron por la evolución de U/Pb, como Houtermans, que asigna a los minerales de uranio de Langban la edad de 1,700 m. a., y otros por la de Rb/Sr, como los ejecutados por Eklund (38), en los microclínicos de rubidio de Varutrask, que le conduce a una edad de 1,740 m. a.

Existe enorme gama de estudios de minerales, más modernos que éstos, no citados en este capítulo, pero es

oportuno señalar los estudios de edades efectuados con minerales españoles.

Con el fin de contribuir a los trabajos internacionales de valoración en años de las edades geológicas, se hicieron los oportunos trabajos con tres minerales diferentes de nuestra Península (29 y 120). En todos los ejemplares se valora el uranio por métodos clásicos y el plomo por técnicas espectroquímicas. Las muestras estudiadas, fueron: una pezblenda muy pura de Sierra Albarrana (Córdoba), que dió 410 m. a., valor excesivo para su situación geológica, por corresponder, según Carbonell (A.), al carbonífero medio o sea a los 240 m. a.; la diferencia encontrada quizá fuera debida a impurificaciones por plomo común, ya que en aquella zona existen filones de galena. Tanto del plomo de la pezblenda como del de las galenas obran muestras en poder del «Committee on the Measurement of Geologic Time», desde 1949, para efectuar la valoración isotópica de los plomos, única manera de aclarar estas diferencias. Se estudió la edad de una betafita de la mina «La Coma», de Córdoba, que dió 800,000 a., concordante con su origen epigenético. Como orientación de la edad de los granitos de Colmenarejo (Madrid), se valoró la edad de las torbernititas de estos granitos, que dieron 420 m. a., que de no existir contaminación corresponden al ordoviciense.

Las diferentes edades de nuestro planeta, se pueden correlacionar con las edades de los astros donde se engendraron los meteoritos que llegan a la tierra, habiendo comprobado claramente Paneth (141), en un minucioso estudio, por el método del helio, que las muestras y quizá los astros donde se originaron estuvieron sometidos a repetidas interrupciones y conglomeraciones y a calentamientos y enfriamientos alternativos. De varios meteoritos ha deducido las edades, y sus valores son del orden de los geológicos.

### IX-3. Columna geológica

En los primeros pasos para la valoración en años de los procesos geológicos existieron dos orientaciones diferentes, la hindú, que suponía la existencia de infinitos ciclos, y la rabínica, concordante con la del Arzobispo Usher, en 1650, que, según las genealogías bíblicas, asignaban para la formación del Universo 4,004 años a. de J. C. A estos investigadores suceden una serie de hombres de ciencia que se acercan cada día más a la realidad, como Hutton, Playfair, Lyell, Lord Kelvin, La Place, Mcgee, Joly, Halloy y Boltwood, que sugieren el empleo de los métodos radiactivos, Barrel, Knopf y Kovarik, que nos sitúan con los investigadores contemporáneos.

La primera tentativa de representación completa en años de la columna geológica la efectúa Urry en 1936 (165), con unos datos muy completos, principalmente de la cronología precambriana, con la particularidad de que se recurre para las valoraciones al método del He, que compara con otros como el del Pb y el sedimentario. En el informe de la Comisión del Tiempo Geológico, del año 1940, publica Lane otra tabla de valoración en años de la columna geológica; en 1941 da Holmes una nueva ampliación en ese sentido y en 1949 publica Knopf sus nuevas aportaciones que, con las anteriores, son resumidas por Marble en el preámbulo del informe de 1949-50 de la Comisión de Medida del Tiempo Geológico.

A partir de los trabajos mencionados, y con los datos recopilados, se ha construído el adjunto cuadro de fijación en años del comienzo y fin de las diversas edades geoló-

gicas, así como el error probable en sus determinaciones. En él se establecen las edades desde la aparición de las primeras manifestaciones siálicas hasta nuestros días, o sea en toda la columna geológica.

Era	Período	Edad aproximada en m. a.	Duración aproximada en m. a.
Cuaternaria ...	Oligoceno ....	0-1 (± 50,000 a)	1
	Pleistoceno ...		
Terciaria .....	Plioceno .....	1-12 (± 1)	11
	Mioceno .....	12-28 (± 1 a 2)	16
	Oligoceno .....	28-40 (± 1 a 2)	12
	Eoceno .....	40-60 (± 2)	20
Secundaria .....	Cretáceo .....	60-130 (± 5)	70
	Jurásico .....	130-155 (± 5)	25
	Triásico .....	155-185 (± 5)	30
Primaria .....	Permiano .....	185-210 (± 10)	25
	Carbonífero ..	210-265 (± 10)	55
	Devoniano ....	265-320 (± 10)	55
	Siluriano .....	320-380 (± 10)	40
	Ordoviciense..	360-440 (± 10)	80
	Cambriano .....	440-540 (± 10)	100
	Precambriano superior ....	540-1,000 (± 25)	460
	Precambriano medio	1,000-1,500 (± 100)	500
	Precambriano inferior .....	1,500-2,500 (± 300)	1,000
	Formación corteza .....	< 3,300	

#### IX-4. Edades arqueológicas

Es muy interesante la valoración en años por métodos radiactivos de las diversas edades arqueológicas y posible si se dispusiese de un reloj de marcha más lenta y de fácil

realización, o sea, de un elemento inicial con período pequeño y que esté abundante en la naturaleza. Este caso existe por fortuna; lo es la acción de los neutrones cósmicos sobre el  $N^{14}$  que dan lugar a la supuesta reacción,  $N^{14} (n, p) C^{14}$  con período de 5,000 a. Si dicho elemento existe en abundancia en la muestra, se puede utilizar muy bien, para mediciones de edades hasta un espacio de tiempo de diez períodos, que son 50,000 a., y lo hace útil para las valoraciones en años de las edades y culturas arqueológicas,

Con esta reacción ( $n, p$ ) se pueden establecer varios caminos de investigaciones. 1.º Al actuar los neutrones sobre el  $N^{14}$  dan lugar al  $C^{14}$  que por desintegración pasa nuevamente al  $N^{14}$ . Si se determina la composición isotópica del carbono, de una muestra de metano procedente del petróleo o procedentes del alcantarillado, se observa un aumento en ésta de la proporción del  $C^{14}$  (12). 2.º Si se aprovechasen en los  $5 \times 10^{18}$  cm.<sup>2</sup> de la superficie terrestre, el 3 % de los neutrones secundarios procedentes de la radiación cósmica, que por segundo actúan en la tierra, se deduce el número de neutrones que bombardean la tierra, al tener en cuenta la existencia de 100 toneladas de  $C^{14}$  radiogénico, que representa un  $10^{-12}$  del carbono del Planeta, con una producción anual de radiocarbono superior a los 10 Kg. 3.º Se ha comprobado que durante un tiempo igual al período del  $C^{14}$ , la intensidad de la radiación cósmica se mantuvo análoga a la actual. 4.º Con la proporción del  $C^{14}$  se puede seguir el proceso de enterramiento de las formaciones carboníferas muy recientes a partir de seres vivientes. 5.º El fundamento del empleo del  $C^{14}$  como reloj arqueológico, reside en que la actividad específica del organismo durante la vida es de  $10 \times 5$  desintegraciones por minuto y gramo del carbono que la constituye, y que al cesar la vida y ser enterrado, se reduce a

la mitad por cada período que transcurre, lo que da la pauta para medir el tiempo desde que cesó su vida. Esta técnica es extensiva a los restos del pleistoceno superior, donde se determinaron valores concordantes con los deducidos estratigráficamente. En el caso del cuerpo humano la radiactividad natural debida a los tres elementos es la siguiente: 380.000 desin/m y hombre debidas al  $K^{40}$ ; 150.000 ocasionadas por activación cósmica del carbono, y de 9.000 a 18.000 originadas por el radio contenido en el ser humano (169).

En un trabajo muy interesante de Arnold y Libby (13), se aprecia cómo la antracita no tiene actividad alguna por su antigüedad, y que algunas edades arqueológicas o históricas, deducidas con la técnica del carbono, son totalmente concordantes con las asignadas con otros métodos, como se ve en el cuadro adjunto.

Material	Bases para asignación de edad	Edad asignada en años	Edad calculada por $C^{14}$ en años
Abeto Douglas	Recuento de anillos	1372 ± 50	1100 ± 50
Sarcófago egipcio	Estilo arqueológico	2149 ± 150	2300 ± 450
Madero de entarimar	Arqueología	2624 ± 50	2600 ± 150
Sequoia gigante	Recuento de anillos	2928 ± 52	3000 ± 165
Tablero funerario egipcio	Datos históricos	3792 ± 50	3700 ± 400
Tumba egipcia	Datos históricos	4600 ± 75	4750 ± 250

## X. TABLA DE PLÉYADES RADIATIVAS

En esta tabla se consignan las pléyades de isótopos, de todos los elementos que tienen radiactividad natural. Además figuran las de los elementos transuránidos por la relación íntima que tienen con las cuatro familias largas.

Los datos están tomados fundamentalmente de las tablas de Mattauch (128); los correspondientes a los elementos transuránidos de los magníficos trabajos de Seaborg y sus colaboradores. Se consignan todos los datos de otros autores que pueden considerarse de interés, aunque sólo sean dados como probables, por no estar plenamente confirmados.

Z	A	Propor- ción en %	Desin- tegrac.	Propor- ción en %	Período	Energía en Mev	Observaciones
19	K <sup>37</sup>		β+		1.3 s	4.7	Natural.
	K <sup>38</sup>		β+		7.5 m	2.53	
	K <sup>39</sup>	93.260					
	K <sup>40</sup>	0.011	β-	90	1.5×10 <sup>9</sup> a	1.34	
			K	10		1.47	
	K <sup>41</sup>	6.729					
	K <sup>42</sup>	<0.0006	β-		12.44 h	3.58	
						2.04	
	K <sup>43</sup>	<0.0006	β-		22.4 h	0.81	
						0.24	
37	Rb <sup>81</sup>	<0.0007	β+	30	5.0 h	0.9	Natural.
			K	70			
	Rb <sup>82</sup>	<0.0007	β+	15	6.3 h	0.9	
			K	85			
	Rb <sup>84</sup>	<0.006					
	Rb <sup>85</sup>	72.8					
	Rb <sup>86</sup>	<0.0056	β-			1.822	
						0.716	
	Rb <sup>87</sup>	27.2	β-		64×10 <sup>9</sup> a	0.13	
	Rb <sup>88</sup>	<0.0033	β-		17.5 m	4.8	
Rb <sup>89</sup>	<0.0007	β-		15 m	3.8		
49	Rb <sup>90</sup>						Natur. (127). Trans. met.
	Rb <sup>91</sup>						
	Rb <sup>92</sup>						
	Rb <sup>93</sup>						
	In <sup>107</sup>		β+		33 m	2	
	In <sup>108</sup>		β+		55 m	2	
	In <sup>109</sup>		β+	7	4.7 h	1.7	
			K	93			
	In <sup>110</sup>	<0.01	β+		65 m	2.3	
			K				
In <sup>111</sup>	<0.01						
In <sup>112</sup>	<0.02	β+	16	9 m	1.45		
		K	25				
		β-	59		1.0		
In <sup>113</sup>	4.23						
In <sup>114</sup>	<0.5	β-	96	72 s	1.98		
		K	4				
In <sup>115</sup>	95.77	β-		6×10 <sup>14</sup> a	0.63		
In <sup>116</sup>		β-	10	4.5 h	0.83		
		TI	90				
In <sup>116</sup>	<0.02	β-		13 s	2.8		
In <sup>116</sup>		β-	51	53.93 m	1.00		
		β-	28		0.87		
		β-	21		0.60		
In <sup>117</sup>	<0.02	β-		117 m	1.73		
In <sup>118</sup>		β-		4.5 m	1.5		
In <sup>119</sup>		β-		17.5 m	2.7		

Z	A	Propor- ción en %	Desin- tegrac.	Propor- ción en %	Período	Energía en Mev	Observaciones
57	La <sup>133</sup>		β+		4.0 h	1.2	Natur. (148).
			K				
	La <sup>135</sup>	<0.002					
	La <sup>136</sup>		β+	33	9.5 m	2.1	
			K	67			
	La <sup>137</sup>	<0.002					
	La <sup>138</sup>	0.089	β-		≤0.12×10 <sup>12</sup> a		
			K				
	La <sup>139</sup>	99.911					
	La <sup>140</sup>	<0.002	β-		40 h	2.26	
62						1.67	
						1.32	
						2.9	
	La <sup>141</sup>	<0.002	β-		3.7 h	2.9	
	La <sup>142</sup>						
	La <sup>143</sup>						
	La <sup>144</sup>						
	La <sup>145</sup>						
	Sm <sup>144</sup>	3.16					
	Sm <sup>145</sup>	<0.002					
62	Sm <sup>147</sup>	15.07	α		0.3×10 <sup>12</sup> a	2.4	Natur. (175).
	Sm <sup>148</sup>	11.27					
	Sm <sup>149</sup>	13.84					
	Sm <sup>150</sup>	7.47					
	Sm <sup>151</sup>	<0.02	β-		500 a	0.076	
	Sm <sup>152</sup>	26.63					
	Sm <sup>153</sup>	<0.01	β-		47 h	0.80	
						0.68	
	Sm <sup>154</sup>	22.53	β-		21 m	1.8	
	Sm <sup>155</sup>	<0.01	β-		10 h	0.8	
71	Sm <sup>156</sup>	<0.02					
	Lu <sup>170</sup>		β+		2.15 d	1.7	
			K				
	Lu <sup>171</sup>		K		9 d		
	Lu <sup>172</sup>		K		6 d	0.13	
			β+				
	Lu <sup>173</sup>		K		1.5 a		
	Lu <sup>174</sup>		K		165 d	0.4	
			β-				
	Lu <sup>175</sup>	97.5					
75	Lu <sup>176</sup>	2.5	β-	33	2.4×10 <sup>10</sup> a	0.215	Natural.
			K	67			
	Lu <sup>176</sup>		β-		3.67 h	0.4	
	Lu <sup>177</sup>		β-		6.9	0.495	
			β-			0.366	
			β-			0.169	
						65 %.	
						12 %.	
						18 %.	
	Re <sup>182</sup>	<0.01					
Re <sup>183</sup>	<0.01						
Re <sup>184</sup>	<0.01	β-		50 d	0.22		
Re <sup>185</sup>	37.07	K					

Z	A	Propor- ción en %	Desin- tegrac.	Propor- ción en %	Período	Energía en Mev	Observaciones
81	Re <sup>186</sup>	<0.01	β-		91 h	1.073	Natural.
	Re <sup>187</sup>	62.93	β-		4 × 10 <sup>12</sup> a	0.043	
	Re <sup>187</sup>		β+		0.65 μ s		
	Re <sup>188</sup>	<0.01	β-		18 h	2.10	
	Tl <sup>193</sup>						
	Tl <sup>195</sup>						
	Tl <sup>197</sup>						
	Tl <sup>198</sup>						
	Tl <sup>199</sup>						
	Tl <sup>200</sup>						
	Tl <sup>201</sup>						
	Tl <sup>202</sup>						
	Tl <sup>203</sup>	29.46					
	Tl <sup>204</sup>	<0.003	β-		2.7 a	0.783	
Tl <sup>205</sup>	70.54						
82	Tl <sup>206</sup>				4.23 m	1.7	
	AcC <sup>207</sup>				4.76 m	1.47	
	ThC <sup>208</sup>				3.1 m	1.792	
	Tl <sup>209</sup>				2.2 m	1.8	
	RaC <sup>210</sup>				1.32 m	1.7	
	Pb <sup>199</sup>						
	Pb <sup>200</sup>						
	Pb <sup>201</sup>						
	Pb <sup>202</sup>						
	Pb <sup>203</sup>	<0.002					
	Pb <sup>204</sup>	1.34					
	Pb <sup>205</sup>						
	Pb <sup>206</sup>	25.33					
	Pb <sup>207</sup>	21.25					
Pb <sup>208</sup>	25.08						
83	Pb <sup>209</sup>		β-		3.32 h	0.68	
	RaD <sup>210</sup>		β-		22 a	0.027	
	AcB <sup>211</sup>		β-		36.1 m	1.40	85 %.
						0.5	15 %.
	ThB <sup>212</sup>		β-		10.6 h	0.569	12 %.
						0.331	88 %.
	RaB <sup>214</sup>		β-		26.8 m	0.65	
	Bi <sup>197</sup>		K		2 m	6.3	
	Bi <sup>198</sup>		α				
	Bi <sup>199</sup>		K	2.10 <sup>-5</sup>	25 m	5.58	
	Bi <sup>200</sup>		α				
	Bi <sup>201</sup>		K		60 m	5.15	
	Bi <sup>202</sup>		α				
	Bi <sup>203</sup>		K				
Bi <sup>204</sup>		K					
Bi <sup>205</sup>		K					
Bi <sup>206</sup>	<0.001	K		6.4 d	1.1		
Bi <sup>207</sup>		K					

Z	A	Propor- ción en %	Desin- tegrac.	Propor- ción en %	Período	Energía en Mev	Observaciones
84	Bi <sup>208</sup>	<0.02	β-				
			K				
	Bi <sup>209</sup>	100					
	RaE <sup>210</sup>	<0.02	β-	~ 100	5 d	1.17	
			α	3.10 <sup>-5</sup>		4.86	
	AcC <sup>211</sup>		β-	0.3	2.16 m	6.74	84 %.
			α	99.7		6.38	16 %.
	ThC <sup>212</sup>		β-	66.3	60.5 m	2.251	
			α	33.7		6.20	27 %.
						6.16	70 %.
						5.70	1.1 %.
	Bi <sup>213</sup>		β-	98	47 m	1.3	
			α	2		5.97	
	RaC <sup>214</sup>		β-	99.96	19.7 m	3.15	45 %.
		α	0.04		5.61	55 %.	
85	Po <sup>203</sup>		K		40 m	5.56	
	Po <sup>204</sup>		α	99.99	4 h	5.45	
	Po <sup>205</sup>		K	0.01	1.5 h	5.2	
	Po <sup>206</sup>		α	~ 90	9 d	5.3	
			α	~ 10			
	Po <sup>207</sup>		K	99.99	5.7 h	5.2	
			α	0.01		5.24	
	Po <sup>208</sup>		α		3 a	5.02	
	Po <sup>209</sup>		K	> 90	200 a	5.4	
			α			7.4	
	RaF <sup>210</sup>		α		138 d	8.95	
	AcC <sup>211</sup>		α		5 ms	8.49	
	ThC <sup>212</sup>		α		0.3 ms	7.83	
	Po <sup>213</sup>		α		4 μ s		
RaC <sup>214</sup>		α		0.15 ms			
AcA <sup>215</sup>		β-	5 × 10 <sup>-4</sup>	1.83 ms	7.50		
		α	~ 100		6.89		
ThA <sup>216</sup>		α		0.158 s			
Po <sup>217</sup>		β-					
RaA <sup>218</sup>		β-	3.1 × 10 <sup>-2</sup>	3.05 m	6.12		
		α	~ 100				
At <sup>204</sup>		K		10 m	6.1		
At <sup>205</sup>		K		25 m	5.9		
At <sup>206</sup>		K					
At <sup>207</sup>		K		1.8 h	5.76		
At <sup>208</sup>		α		1.7 h	5.65		
At <sup>209</sup>		K		5.5 h	5.65		
		α					

Z	A	Propor- ción en %	Desin- tegrac.	Propor- ción en %	Período	Energía en Mev	Observaciones
	At <sup>210</sup>		K	> 0.01		5.4	
	At <sup>211</sup>		K	60	7.5 h	6.0	
	At <sup>212</sup>		α	40	0.25 s	7.4	
	At <sup>214</sup>		K			8.7	
	At <sup>215</sup>		α	~ 100	0.1 ms	8.15	
	At <sup>216</sup>		β-		1 ms		
			K	~ 100		7.94	
	At <sup>217</sup>		β-	~ 100	21 ms	7.15	
	At <sup>218</sup>		α	~ 100		6.63	
86	Em <sup>212</sup>		α	~ 100	23 m	6.18	
	Em <sup>213</sup>		K				
	Em <sup>216</sup>		α		1 ms	7.88	
	Em <sup>217</sup>		α		19 ms	7.25	
	Em <sup>218</sup>		α		3.92 s	6.94	83 %.
	An <sup>219</sup>		α			6.68	18.5 %.
			α			6.56	18.5 %.
	Tn <sup>220</sup>		α		54.5 s	6.28	
	Em <sup>221</sup>		β-				
	Rn <sup>222</sup>		α		3.83 d	5.59	
87	Fr <sup>212</sup>		α	50	19 m	6.18	
	Fr <sup>218</sup>		K			8.1	
			α			8.1	
	Fr <sup>219</sup>		α		20 ms	7.44	
	Fr <sup>220</sup>		β-		27.5 s		
			K	~ 100		6.81	
	Fr <sup>221</sup>		β-	~ 100	4.8 m	6.45	
	Fr <sup>222</sup>		α				
			β-				
			K		21 m	1.20	
88	AcK <sup>223</sup>		β-		31 s	6.83	
	Ra <sup>221</sup>		α		38 s	6.62	
	Ra <sup>222</sup>		α			5.82	55 %.
	AcX <sup>223</sup>		α		11.2 d	5.71	36 %.
						5.63	9 %.
						5.78	
	ThX <sup>224</sup>		α		3.64 d	5.78	
	Ra <sup>225</sup>		β-		14.5 d	0.1	
	Ra <sup>226</sup>		α		16.22 a	4.88	91 %.
						4.68	9 %.
	Ra <sup>227</sup>		β-				
	MsTh <sup>228</sup>		β-		6.7 a	0.05	
89	Ac <sup>222</sup>		K				
			α				
	Ac <sup>223</sup>		α	~ 100	2.2 m	6.76	

Z	A	Propor- ción en %	Desin- tegrac.	Propor- ción en %	Período	Energía en Mev	Observaciones
	Ac <sup>224</sup>		β-		2.9 h		
			K				
			α	10		6.28	
	Ac <sup>225</sup>		α			5.90	
	Ac <sup>226</sup>		β-				
			K				
	Ac <sup>227</sup>		β-	98.8	21.7 a	0.01	
			α	1.2		5.04	
	MsTh <sup>228</sup>		β-	~ 100	6.13 h	1.55	
			α	10 <sup>-7</sup>		4.54	
90	Th <sup>223</sup>		K				
	Th <sup>224</sup>		α				
	Th <sup>225</sup>		K		7.8 m		
			α	90		6.68	
	Th <sup>226</sup>		α		30.9 m	6.41	
	RdAc <sup>227</sup>		α		18.6 d	6.16	20 %.
						6.13	3.8 %.
						6.10	25 %.
						6.08	3.8 %.
						6.03	1.3 %.
						5.97	2.5 %.
						5.92	1.3 %.
						5.87	20 %.
						5.84	3.8 %.
						5.82	15 %.
						5.77	2.5 %.
	RdTh <sup>228</sup>		α		1.90 a	5.52	70 %.
						5.43	28 %.
	Th <sup>229</sup>		α		7 × 10 <sup>3</sup> a	5.14	10 %.
						5.04	20 %.
						5.94	70 %.
	I <sub>0</sub> <sup>230</sup>		α		80 × 10 <sup>3</sup> a	4.76	80 %.
						4.69	20 %.
	UY <sup>231</sup>		β-		25.5 h	0.21	
	Th <sup>232</sup>	100	α		13.9 × 10 <sup>9</sup> a	4.05	Natural.
	Th <sup>233</sup>		β-		23.5 m	1.2	
	UX <sub>1</sub> <sup>234</sup>		β-		24.1 d	0.205	80 %.
						0.110	20 %.
91	Pa <sup>226</sup>		K		1.7 m		
			α	~ 100		6.93	
	Pa <sup>227</sup>		K	20	38 m		
			α	80		6.57	
	Pa <sup>228</sup>		K	~ 98	22 h		
			α	~ 2		6.20	
	Pa <sup>229</sup>		K	99	1.5 d		
			α	1		5.79	
	Pa <sup>230</sup>		β-	10	17.7 d	1.1	
			K	90		1.1	
			α	3.5 × 10 <sup>-3</sup>		5.5	
	Pa <sup>231</sup>	100	α		34.3 × 10 <sup>-3</sup> a	5.1	87 %.
						4.82	13 %.
	Pa <sup>232</sup>		β-		1.4 d	0.28	
			K				



Z	A	Propor- ción en %	Desin- tegrac.	Propor- ción en %	Período	Energía en Mev	Observaciones
92	Pa <sup>233</sup>		β-		27.4 d	0.23	
	UZ <sup>234</sup>		β-		6.7 h	1.2	10 %.
						0.45	90 %.
	UX <sup>234</sup>		β-		1.2 m	2.32	95% trans.met.
						1.52	5 %.
	Pa <sup>235</sup>		β-		23.7 m	1.4	
	U <sup>227</sup>		K				
	U <sup>228</sup>		K	20	9.3 m	6.83	
			α	80			
	U <sup>229</sup>		K	> 80	58 m	6.53	
			α	< 20			
	U <sup>230</sup>		α		20.8 d	5.96	
	U <sup>231</sup>	<0.003	K	~100	4.2 d	5.6	
			α	6×10 <sup>-3</sup>			
	U <sup>232</sup>	<0.003	α		70 a	5.40	
	U <sup>233</sup>	<0.003	α		160×10 <sup>3</sup> a	4.90	
UII <sup>234</sup>	0.006	α		235×10 <sup>3</sup> a	4.84		
AcU <sup>235</sup>	0.720	α		707×10 <sup>6</sup> a	4.64	10 %.	
					4.48	Natur.	
U <sup>237</sup>	<0.0083	β-		6.33 d	0.23	90 %.	
UI <sup>238</sup>	99.274	α		4.51×10 <sup>9</sup> a	4.25	Natural.	
U <sup>239</sup>	<0.0083	β-		23.5 m	0.06	8 %.	
					1.12	97 %.	
93	Np <sup>231</sup>		K	99	50 m	6.28	
			α	1			
	Np <sup>232</sup>		K		13 m		
	Np <sup>233</sup>		K		35 m	5.65	
			α	10 <sup>-3</sup>			
	Np <sup>234</sup>		K	5×10 <sup>-3</sup>	435 d	5.15	
	Np <sup>235</sup>		K			0.5	
	Np <sup>236</sup>		β-		22 h		
			K				
	Np <sup>237</sup>		α		2.2×10 <sup>6</sup> a	4.85	
	Np <sup>238</sup>		β-		2.1 d	1.39	
		K			0.22		
Np <sup>239</sup>		β-		2.3 d	1.179	1 %.	
					0.676	6 %.	
					0.403	42 %.	
					0.288	51 %.	
94	Pu <sup>232</sup>		K				
	Pu <sup>233</sup>		K				
	Pu <sup>234</sup>		K	97	8.5 h	6.26	
			α	3			
	Pu <sup>235</sup>		K		2.7 a	5.85	
	Pu <sup>236</sup>		α				
	Pu <sup>237</sup>		K		92 a	5.60	
	Pu <sup>238</sup>		α			5.24	
	Pu <sup>239</sup>		α		6×10 <sup>3</sup> a	5.2	
	Pu <sup>240</sup>		β-	~100	10 a	0.015	
	Pu <sup>241</sup>		α	2×10 <sup>-3</sup>		5.1	

Z	A	Propor- ción en %	Desin- tegrac.	Propor- ción en %	Período	Energía en Mev	Observaciones
95	Pu <sup>243</sup>		β-				
	Am <sup>238</sup>		β-				
			K				
	Am <sup>239</sup>		K	~100	12 h	5.87	
			α	10 <sup>-2</sup>			
	Am <sup>240</sup>		K				
			α				
	Am <sup>241</sup>		α	~100	490 a	5.58	
	Am <sup>242</sup>		β-	~0.1	400 a	0.5	
			α			5.4	
96	Am <sup>242</sup>		β-		16 h	0.63	
	Am <sup>244</sup>		β-				
	Cm <sup>238</sup>		K		2.5 h	6.50	
			α				
	Cm <sup>239</sup>		K			6.37	
	Cm <sup>240</sup>		α	> 80	26.8 d		
	Cm <sup>241</sup>		K		150 d	5.89	15 %.
	Cm <sup>242</sup>		α		100 a	5.75	85 %.
	Cm <sup>243</sup>		α			5.78	
97	Cm <sup>244</sup>		α		10 a		
	Cm <sup>247</sup>		β-				
	Cm <sup>249</sup>		β-				
	Bk <sup>248</sup>		K	~100	4.6 h	6.72	30 %.
		α	0.1		6.55	53 %.	
98	Cf <sup>242</sup>		K		160 d	6.20	17 %.
	Cf <sup>244</sup>		α		45 m	7.1	

## XI. BIBLIOGRAFÍA

En esta lista de 200 trabajos, relacionados directamente con los puntos de radiactividad tratados en esta obra, no se citan ninguno de los varios libros especiales conocidos por cuantos se ocupan de este tema, como lo son: El tomo IV de la serie de Física de la Tierra, titulado «The Age of the Earth», publicado en 1931, donde se recopilan los conocimientos anteriores sobre edad de la tierra. El tomo de la colaboración de P. Krusch sobre uranio y radio, a la obra «Die Metallischen Rohstoffe» (1937), donde se resume el estudio de los criaderos y manantiales descubiertos hasta la fecha de su edición. La obra general de L. Rosenfeld, que tiene por nombre «Nuclear Forces» (1948), de indiscutible utilidad para cuantos colaboran en el campo de la radiactividad, y otros muchos de consulta, de gran interés, para los investigadores de esta rama de la geofísica.

1. AHRENS, L. H.: «A summary of the use of the Rb/Sr method for the determination of geologic age».—Rep. of the Com. on the Meas. of Geol. Time., 1946-47, 47 a 54.
2. — «Geological Age: The Extreme Antiquity of Pegmatites from Manitoba». — Nature, CLX, 874. 1947.

3. AHRENS, L. H.: «The geochemistry of radiogenic strontium». - *Min. Mag.*, XXVIII, 277 a 295. 1948.
4. — «Evidence of Geological Ages against Decay of Tin.— 115 to Indium, 115 by Electron Capture». - *Nature*, CLXII, 413. 1948.
5. — «Measuring Geologic Time by the Strontium Method». - *Bul. Geol. Soc. Amer.*, LX, 217 a 266. 1949.
6. — «Report to Committee on Measurement of Geologic Time.» - *Rep. of the Com. on the Meas. of Geol. Time, 1949-50*, 29 a 36.
7. AHRENS, L. H., y EVANS, R. D.: «The Radioactive Decay Constants of  $K^{40}$  as Determined from the Accumulation of  $Ca^{40}$  in Ancient Minerals». - *Physical Rev.*, LXXIV, 279 a 286. 1948.
8. ALPHER, R. A., BETHE, H., y GAMOW, G.: «The Origin of Chemical Elements». - *Physical Rev.*, LXXIII, 803/4. 1948.
9. ALPHER, R. H., y HERMAN, R. C.: «Evolution of the Universe». - *Nature*, CLXI, 774/5. 1948.
10. — «On the Origin of the Elements». - *Physical Rev.*, LXXV, 332. 1949.
11. — «Remarks on the Evolution of the Expanding Universe». - *Phys. Rev.*, LXXV, 1089 a 1095. 1949.
12. ANDERSON, E. C., LIBBY, W. F., WEINHOUSE, S. REID, A. F., KIRSHENBAUM, A. D., VON GROSSE, A.: «Radiocarbon from Cosmic Radiation». - *Science CV.*, 576-7. 1947.
13. ARNOLD, J. R. y LIBBY, W. F.: «Age Determinations by Radiocarbon Content: Checks with Samples of Known Age». - *Science*, CX, 678 a 80. 1949.

14. ASTON, R. W.: «The isotopic constitution and atomic weight of lead». - *Proc. Roy. Soc.*, CXL, 535 a 543. 1933.
15. BELL, P. R., y CASSIDY, J. M.: «Measurement of the Gamma-Ray Energy of  $K^{40}$ ». - *Physical Review*, LXXIX, 173-4. 1950.
16. BERG, G.: «Das Vorkommen der chemischen Elemente auf der Erde». - Leipzig, 1932, pág. 113.
17. BIRCH, F.: «The effects of Pleistocene climatic variations upon geothermal gradients». - *Amer. J. Sci.*, CCXLVI, 729 a 60. 1948.
18. BLEULER, E., y GABRIEL, M.: «Dualer Zerfall des Kalium 40». - *Helv. Phys. Acta*, XX, 67 a 72. 1947.
19. BOK, B. J. y WATSON, F. G.: «Astronomic considerations». - *Rep. of the Com. on the Meas. of Geol. Time, 1940*, 91 a 93.
20. BRAMLEY, A.: «Estimates of the age of the planet from isotope ratios». - *Physical Rev.*, LIII, 323. 1938.
21. BREWER, A. K.: «Age of Matter as Determined by the Radioactivity of Potassium and Rubidium». - *J. Washington Acad. Sci.*, XXVIII, 416. 1938.
22. BROWN, H.: «An experimental method for the estimation of the age of the elements». - *Physical Review*, LXXII, 348. 1947.
23. — «A table of relative abundances of nuclear species». - *Rev. Mod. Physics*, XXI, 625 a 634. 1949.
24. BROWN, H., y GOLDBERG, E.: «A New Determination of the Relative Abundance of Rhenium in Nature». - *Physical Rev.*, LXXVII o LXXVI, 1260/I. 1949.

25. BROWN, H., e INGRAM, M. G.: «The Isotopic Composition of Meteoritic Copper».—*Physical Rev.*, LXXII, 347. 1947.
26. BROWN, H., y PATTERSON, C.: «The Relative Abundance of Some Light Nuclear Species as Determined from the Composition of Stony Meteorites».—*Physical Rev.*, LXXII, 456/7. 1947.
27. BULLARD, E. C.: «Thermal History of the Earth».—*Nature*, CLVI, 35. 1945.
28. BULLARD, E. C., y STANLEY, J. P.: «The Age of the Earth».—*Finnischen Geodatischen Institutes*, n.º 36-33-40. 1949.
29. CASARES LÓPEZ, R., LÓPEZ DE AZCONA, J. M., y LEAL LUNA, J.: «Aplicación del método del plomo a la determinación en años de la edad de minerales de Madrid y Córdoba».—*Rev. Geofís.*, I, 113 a 122. 1942.
30. CECCARELLI, M., QUARENI, G., y ROSTEGNE, A.: «On the Radioactivity of Potassium».—*Physical Rev.*, LXXX, 909/10. 1950.
31. CHALMERS, J. A., a CHALMERS, B.: «Age of the Universe».—*Nature*, CXXXVI, 916. 1935.
32. CHANDRASBKHAR, S.: «Galactic Evidences for the time scale of the universe».—*J. Washington Acad. Sci.*, XXXV, 98/9. 1945.
- 32\*. CURTISS (L. F.): «Measurements of Radioactivity». *Nat. Bur. of Stand*, n.º 476. 1949.
33. DAURER, W.: «Neutronenemission des Uraniums als Folge sed. spontaner Spaltung».—*Z. Physik*, CXX, 285 a 292. 1943.
34. DAVIS, G. L.: «Radium content of ultramafic igneous rocks: III. Meteorites».—*Amer. J. Sci.*, CCXLVIII, 107 a 111. 1950.

35. DAVIS, G. L., a HESS, H. H.: «Radium content of ultramafic igneous rocks: I. Laboratory investigation».—*Amer. J. Sci.*, CCXLV, 677 a 693. 1947.
36. — «Radium content of ultramafic igneous rocks: II. Geological and Chemical implications».—*Amer. J. Sci.*, CCXLVII, 856 a 882. 1949.
37. EDDINGTON, A. S.: «Constitution of the stars».—*Ann. Repts. Smithsonian Inst.*, Washington, 1937, 131 a 144.
38. EKLUND, S.: «Studies in nuclear physics».—*Arkiv. Mat., Astron., Physik*, XXXIII, n.º 14, 79 p. 1946.
39. ERÖS, N.: «L'actinouranium et les temps géologiques».—*Bul. Soc. Romana. Fiz. (Bucharest)*, XLVII, 29 a 31. 1946.
40. EVANS, R. D.: «Measurements of the age of the solar system».—*Geol. Serv. Field. Mus. Nat. His.*, VII, 79. 1943.
41. EVANS, R. D., a GOODMAN, C.: «Radioactivity of rocks».—*Bull. Geol. Soc. Amer.*, LII, 459 a 490. 1941.
42. FERSMAN, A. F.: «Geoquímica».—4 tomos. *Leningrado*. 1935/39.
43. FLOYD, J. J., y BORST, L. B.: «Energy of Beta-Rays from K<sup>40</sup>».—*Physical Rev.*, LXXV, 1106. 1949.
44. FOSTER FLINT, R.: «Late pleistocene dates derived from radiocarbon assay».—*Rep. of the Com. on the Meas. of Geol. Time*, 1948/49, 66/7.
45. GAMOW, G.: «The Evolution of the Universe».—*Nature*, CLXII, 680 a 682. 1948.
46. — «The Origin of Elements and the Separation of Galaxies».—*Physical Rev.*, LXXIV, 505-6. 1948.
47. GARNER, C. S., BONNER, N. A., y SEABORG, G. T.:

- «Search for elements 94 and 93 in nature. Presence of  $94^{239}$  in carnotite».—J. Amer. Chem. Soc., LXX, 3453 y 4. 1948.
48. GBRING, F. K.: «Age of the earth according to radioactivity data».—Com. rendus. Acad. Sci., U. R. S. S., XXXIV, 259 a 61. 1942.
49. GLEDITSCH, E., y GRAF, T.: «Significance of the Radioactivity of Potassium in Geophysics».—Physical Rev., LXXII, 641. 1947.
50. GOLDSCHMIDT, V. M.: «Geochem. Verteilungsgesetze».—Oslo, IX. 1938.
51. GRAF, T.: «Significance of the Radioactivity of Potassium in Geophysics II».—Physical Rev., LXXIV, 831-2. 1948.
52. — «Electron Capture-Beta-Decay Ratio in  $K^{40}$ ».—Physical Rev., LXXIX, 1014. 1950.
53. GRAVES, A., y WALKER R. L.: «A Method for Measuring Half-Lines».—Physical Rev., LXXI, 1 a 3. 1947.
54. GRÉGOIRE, R.: «Tableau des noyaux stables et radioactifs».—Tables annuelles de Constantes et données numériques.—Janvier, 1946.
55. GUTENBERG, B.: «The age of the earth from the changes in its temperature and elastic properties».—Science, LXXXII, 52. 1935.
56. HAGEMANN, F., KATZIN, L. I., STUDIER, M. H., GHIORSO, A., and SEABORG, G. T.: «The radioactive Series. The Decay products of  $U^{233}$ ».—Physical Rev., LXXII, 252. 1947.
57. HAGEMANN, F., KATZIN, L. I., STUDIER, M. H., SEABORG, G. T. y GHIORSO A.: «The  $4n+1$  Radioactive Series: The Decay Products of  $U^{233}$ ».—Physical Rev., LXXIX, 435 a 443. 1950.

58. HARTBECK, P., y SUBSS, H.: «Der Argongehalt kalihaltiger Minerale und die Frage des dualen Zerfalls von  $K^{40}$ ».—Naturwiss., XXXIV, 214-5. 1947.
59. HENDERSON, G. H.: «A Quantitative study of pleochroic haloes».—Rep. of the Com. on the Meas. Geol. Time, 1935, 70-1.
60. HILL, W. S.: «Elementos radioactivos en los huesos fósiles del terciario y del cuaternario».—Ciencia e Investigación. Enero, 1950.
61. HOFSTADTER, R.: «Crystal Counters».—Nucleonics, IV, Apr. 2 a 27, May 29 a 43. 1949.
62. HOLMES, A.: «Age of the Earth and of Meteorites». J. Brit. Astr. Assn., XLV, 380 a 88. 1935.
63. — «An estimate of the age of the earth».—Nature, CLVII, 680 a 684. 1946.
64. — «The Construction of a Geological Time Scale».—Trans. Geol. Soc. Glasgow, XXI, 117-152. 1947.
65. — «The Oldest Known Minerals and Rocks». Rep. of the Com. on the Meas. Geol. Time, 1946-47, 39 a 43.
66. — «A Revised Estimate of the Age of the Earth».—Nature, CLIX, 127-8. 1947.
67. — «The age of the Earth».—Endeavour, VI, 99 a 108. 1947.
68. — «An estimate of the age of the Earth».—Geol. Mag., LXXXIV, p. 123, t. 126, 1947.
69. — «The Oldest Known Minerals and Rocks». Trans. Edinburgh Geol. Soc., XIV, 176 a 194. 1948.
70. — «Lead isotopes and the age of the earth».—Nature, CLXIII, 453 a 6. 1949.

71. HOUTERMANS, F. G.: «Isotope abundance in natural lead and the age of uranium». — *Naturwiss.*, XXXIII, 185-6. 1946.
72. — «Das Alter des Urans». — *Naturf.*, II a, 322-328. 1947.
73. HUBBLE, E. P.: «The Observational Approach to Cosmology». — Clarendon Press (Oxford). 1937.
74. INGRAM, M. G., HESS, D. C., BROWN, H. S., y GOLDBERG, E.: «On the Isotopic Composition of Meteoritic and Terrestrial Gallium». — *Physical Rev.*, LXXIV, 343-4. 1948.
75. INGRAM, M. G., HESS, D. C., y HAYDEN, R. J.: «Isotopic Composition of Samarium». — *Physical Rev.*, LXXIII, 180. 1948.
76. INGRAM, M. G., BROWN, H., PATTERSON, C., y HESS, D. C.: «The Branching Ratio of  $K^{40}$  Radioactive Decay». — *Physical Rev.*, LXXX, 916-7. 1950.
77. JEFFREYS, H.: «Constitution of the Earth». — *Nature*, CXXXV, 687 a 680. 1935.
78. — «Lead Isotopes and the Age of the Earth». — *Nature*, CLXII, 822-23. 1948.
79. — «On the Radioactivity of Potassium». — *Ann. Geophys.*, VI, 10 a 17. 1950.
80. JORDAN, W. H., a. BELL, P. B.: «Scintillation counters». — *Nucleonics*, V, Oct., 30 a 41. 1949.
81. KEBVIL, N. B.: «Terminology in age work». — *Amer. J. Sci.*, CCXXXIX, 608 a 11. 1941.
82. KHLOPIN, V. G., GERLING, E. K., y BARANOVSKAYA, V. V.: «Natural Occurrence of Some Stable Products of Spontaneous Fission of Uranium». — *Bull. Acad. Sci. U.R.S.S., Chim.* 599-604. 1947.
83. KHLOPIN, V. G., y VLADIMIROVA, M. E.: «Geologic Age of Uraninites and Monazites from the Peg-

- matite Veins of North Karelia». — *Rep. of the Com. on the Meas. Geol. Time*, 1940, 120 a 128.
84. KNIPER, G. P.: «The Age of the Galaxy from the Desintegration of Galactic Star Clusters and Binary Stars». — *Science*, LXXXII, 52-3. 1935.
85. LANE, A. C.: «Rating the geologic clock». — *Rep. of the Com. on the Meas. of Geol. Time*, 1934, 82 a 86.
86. — «Surface Effects on Geotherms». — *Rep. of the Com. on the Meas. of Geol. Time*, 1946-47, 55 a 65.
87. LEADERS, W. M.: «Radioactive Comparison of Meteoritic and Terrestrial Potassium». — *J. Appl. Phys.*, XII, 348-9. 1941.
88. LIBBY, W. F.: «Archæological ages by natural radiocarbon content». — *Rep. of the Com. on the Meas. of Geol. Time*, 1947-48, 25-6.
89. LIBBY, W. F., ANDERSON, E. C., y ARNOLD, J. R.: «Age Determination by radiocarbon content; worldwide assay of natural radiocarbon». — *Science*, CIX, 227-8. 1949.
90. LÓPEZ DE AZCONA, J. M.: «Comunicaciones verticales por disolución». — *Las Ciencias*, III, n.º 2. 1936.
91. — «Radiactividad beta del Lutecio 176 y sensibilidad espectroquímica». — *Anal. Fís. Quím.*, XXXV, 10-1. 1939.
92. — «Edad geológica máxima y algunas consecuencias de la hipótesis de Wilkins». — *Anal. Fís. y Quím.*, XXXV, 7 a 9. 1939.
93. — «Maximum geological age, and some consequences of the hypothesis of Wilkins». — *Com. Measurement Geological Time*, 1940, página 130.

94. LÓPEZ DE AZCONA, J. M.: «L'età geologica determinata con processi radioattivi naturali».—*Materie Prime d'Italia e dell'Impero*, V, 480 a 482. 1940.
95. — «Radioactivity  $\beta$  of Lu<sup>176</sup> and spectrochemical sensibility of Lu».—*Rep. Com. Measurement Geological Time*, 1940, 130.
96. — «Algunas consideraciones sobre los minerales radiactivos de la Sierra Albarrana y de los productos fabricados con los mismos».—*Bresa*, n.º 5. 1941.
97. — «La edad geológica por desintegración nuclear de los átomos».—*Rev. Univ. Madrid*, I, 228 a 231. 1941.
98. — «Spectrochemical sensitivity of the elements which may be used in the determination of the geologic age by atomic disintegration. 2nd part.».—*Rep. Com. Measurement Geological Time*, 1941, 114.
99. — «Estudio geoquímico de los minerales de plomo».—*Ion*, II, 446 a 57. 1942.
100. — «Relación entre el color y la composición espectroquímica de las turmalinas».—*Alfa*, número 3, 33 a 37. 1944.
101. — «Conferencias de Radiactividad».—*Rev. Geofís.*, III, 328 a 371. 1944.
102. — «Conceptos fundamentales sobre energía atómica».—*Combustible*, II, 355 a 358. 1945.
103. — «Las familias radiactivas».—*Rev. Geofís.*, IV, 253 a 258. 1945.
104. — «La radiactividad  $\beta$  en la primera columna de la tabla periódica».—*Anal. Fís. Quím.*, XLI, 200-202. 1945.

105. LÓPEZ DE AZCONA, J. M.: «La inmutabilidad del cronómetro radiactivo».—*Rev. Geofís.*, 614-16. 1945.
106. — «La radiactividad y la energía atómica».—*Rev. Geofís.*, V, 232-246. 1946.
107. — «Estado actual de las aplicaciones de la desintegración nuclear de los átomos a los problemas de las edades».—*O Instituto*, CVII, 275 a 313. 1946.
108. — «Síntesis y desintegración nuclear de los átomos y la medida de los tiempos».—*Mem. Inst. Geol. Min.*, I a 38. 1946.
109. — «Is there lead of radioactive origin in tourmaline?».—*Rep. Com. Measurement Geological Time*, Agosto, 1947, 60 a 62.
110. — «Interpretación geofísica de las valoraciones isotópicas de los plomos comunes».—*Rev. Real Acad. de Cienc.*, Madrid, XLII, 393 a 420., 1948.
111. — «Pérdida de elementos y errores en las medidas de edades».—*Anal. Fís. Quím.*, Serie B, XLIV, 571 a 576. 1948.
112. — «The necessity for different values for the ratio Pb/U of the crust and the rest of the planet».—*Rep. Committee Measurements Geological Time*, Junio, 1949, 21-2.
113. — «El uranio en nuestro planeta».—*Bol. Radiact.*, XXII, 175 a 188. 1949.
114. — «Evolución del torio y plomo 208».—*Anal. Fís. y Quím.*, Serie A. XLV, 181 a 183. 1949.
115. — «Algunas consecuencias geofísicas de la radiactividad natural».—*Bol. Radiac.*, XXIII, 135 a 152. 1950.
116. — «Age in years of the formation of the ele-

- ments».—Rep. Committee Measurements Geological Time, Nov., 1950, 113 a 117.
117. LÓPEZ DE AZCONA, J. M.: «Energía radiactiva natural».—II Congreso Nac. Ingeniería, 1950, número 256.
118. — «Limitaciones geofísicas a los valores de  $\lambda$  correspondientes al  $K^{40}$ ».—VI Reunión Real Soc. Esp. de Fís. y Quím. 1950.
119. LÓPEZ DE AZCONA, J. M. y ABBAD, M.: «A pseudomorph of pitchblende after beryl, from the Sierra de la Albarra (Córdoba)».—Rep. Com. Measurements Geological Time, 1941, 115.
120. LÓPEZ DE AZCONA, J. M., CASARES LÓPEZ, R., y LEAL LUNA, J.: «Age in Years of Three Spanish Minerals».—Rep. Com. Measurements Geological Time, 1942, 49-50.
121. LÓPEZ DE AZCONA, J. M., y LEAL LUNA, J.: «Spectroscopic sensibility of the elements that intervene in the determination of geological age by atomic disintegration».—Rep. Com. Measurements Geological Time, 1940, 130.
122. — «Relación entre días del Génesis, edad geológica y años».—Anal. Fís. Quím., XXXVII, 413-418. 1941.
123. — «Genesis, geological dates and years».—Rep. Com. Measurements Geological Time, 1941, 114.
124. — «La radiactividad y la medida de los días en el Génesis».—Arbor, III, 193 a 214. 1946.
125. MACNAMARA, J., y THODE, H. G.: «The Isotopes of Xenon and Krypton in pitchblende and the Spontaneous Fission of U-238».—Physical Rev., LXXX, 471-2. 1950.

126. MACNAMARA, J., THODE, H. G.: «Comparison of the Isotopic Constitution of Terrestrial and Meteoritic Sulphur».—Physical Rev., LXXVIII, 307-8. 1950.
127. MARTELL, E. A., y LIBBY, W. F.: «The Natural Radioactivity of  $In^{115}$ ».—Physical Rev., LXXV, 977 a 982. 1950.
128. MATTAUCH, S., u. FLAMMERSPELD, A.: «Isotopenbericht Tübingen».—1949.
129. MEYER, S.: «Über das "Alter" der Sonne und über die Zerfallskonstante des Actinurans».—Forsch. Fortschr., XIV, 41 a 43. 1938.
130. MIHOLIC, S.: «Ore deposits and geologic age».—Econ. Geol., XLII, 713 a 720. 1947.
131. MIR AMORÓS, J., y LÓPEZ DE AZCONA, J. M.: «Plomo y manganeso de la silvinita y sal común».—Rev. Acad. Cienc., Barcelona, XXIX, 443 a 457. 1948.
132. MYERS, O. E.: «Calorimetric Radioactivity Measurements».—Nucleonics, V, Nov., 37 a 47. 1949.
133. NALDRETT, S. N., y LIBBY, W. F.: «Natural Radioactivity of Rhenium».—Physical Rev., LXXIII, 487 a 493. 1948.
134. NIBB, A. O.: «Variations in the relative abundances of the isotopes of common lead from various sources».—J. Amer. Chem. Soc., LX, 1571 a 76. 1938.
135. — «Work of».—R. of the Com. on the Mess. of. Geol. Time, 1941, 49 a 64.
136. — «Variations in the relative abundance of the lead isotopes».—Physical Rev., 2.º, LIII, 680. 1948.
137. NIBB, A. O., THOMPSON, R. W., y MURPHY, B. F.:



- «The isotopic constitution of lead on the measurement of geological time».—111, *Physical Rev.*, LX, 112 a 6. 1941.
138. NODDACH, I. u. W.: «Die Häufigkeit der chemischen Elemente».—*Naturwiss.*, XXXV, 757 a 764. 1930.
139. NOBTZLIN, J.: «Bilans énergétiques en géophysique». Hermas & Cie., París, 1948, 62 pág.
140. ORR, J. B.: «Uranium 235 in Thucholite».—*Physical Rev.*, LXXVI, 155. 1949.
141. PANASYUK, I. S., y FLEROV, G. N.: «Spontaneous fission of chromium».—*Compt. Rend. Acad. Sci. U. R. S. S.* XXX, 704/5. 1941.
- 141\*. PANETH, F. A.: «Geological Age of Meteorites».—*Nature*, CLXV, 454. 1950.
142. PERFILOW, N. A.: «Half-life periods of the spontaneous fission of uranium and of thorium.»—*J. Exp. Theoret. Phys. U. R. S. S.*, XVII, 476 a 484. 1947.
143. PBYRZHAK, K. A., y FLEROV, G. N.: «Spontaneous Fission of Uranium».—*Uspekhi Fiz. Nauk.*, XXV, 171 a 178. 1941.
144. PICCIOTTO, E. E.: «L'étude de la radioactivité des roches par la méthode photographique».—*Bull. Soc. Belge Geol. Pal. Hydrol.*, LVIII, fas. 1.º. 1949.
145. PIGGOT, CH. S.: «The significance of the isotopes of uranium and lead».—R. of the Com. of the measurements of Geol. Time, 1934, 62.
146. POOLE, J. H. J., DELANEY, C. F. G., y McCORMICK, R. C.: «The possible existence of a fourth natural radioactive series».—*Sci. Proc. Roy. Dublin Sci.*, XXV, 101 a 105. 1949.
147. — «The possible existence of the  $4n + 1$  ra-

- dioactive series in chloritized Ytterby mica».—*Physical Rev.*, LXXVI, 1252/3. 1949.
148. PRINGLE, R. W., STANDIL, S., y ROULSTON, K. I.—«The Natural Activity of Lanthanum».—*Physical Rev.*, LXXVIII, 303/4. 1950.
- 148\*. PURKAYUSTHA, B. C.: «Fission of Atomic Nuclei».—*Nucleonics*, II, n.º 6, 2 a 22. 1948.
149. RANKAMA, K.: «A note on the original isotopic composition of terrestrial carbon».—*J. Geol.*, LVI, 199 a 209. 1948.
150. RANKAMA, K.: «New evidence of the origin of precambrian carbon».—*Bull. Geol. Soc. Amer.*, LIX, 389 a 416. 1948.
- 150\*. RUSSELL, W. L.: «The Total Gamma Ray Activity of Sedimentary Rocks as indicated by Geiger Counter Determinations».—*Geophysics.*, IX, 180 a 217. 1944.
151. SARAIVA DE TOLEDO, P., a. WATAGIN, G.: «On the Relative Abundance of Nuclei in the Universe».—*Physical Rev.*, LXXIII, 79/80. 1948.
152. SAWYER, G. A., y WIBDENBECK, M. L.: «Decay Constants of  $K^{40}$ ».—*Physical Rev.*, LXXXIX, 490 a 494. 1950.
- 152\*. SCHUMB, W. C., EVANS, R. D., y HASTINGS, J. L.: «The Radioactive Determination of Protoactinium in Siliceous Terrestrial and Meteoritic Material».—*J. Am. Chem. Soc.*, LXI, 3451 a 3455. 1939.
- 152\*\*. SCHUMB, W. C., EVANS, R. D., y LEADERS, W. M.: «Radioactive Determination of the Relative Abundance of the Isotope  $K^{40}$  in Terrestrial and Meteoritic Potassium».—*J. Am. Chem. Soc.*, LXIII, 1203 a 1205. 1948.

153. SEABORG, G. T.: «Plutonium and Other Transuranium Elements». Chem. Eng. News., XXV, 358 a 360. 1947.
154. SEABORG, G. T., and PERLMAN, M. L.: «Search for elements 94 and 93 in nature. Presence of  $94^{239}$  in pitchblende».—J. Amer. Chem. Soc. LXX, 1571 a 1573. 1948.
155. SEABORG, G. T., a. SEGRE, E.: «The trans-uranium elements».—Nature., CLIX, 863 a 865. 1947.
156. SENFLE, F. E., y KEEVIL, N. B.: «Thorium-uranium ratios in the theory of genesis of lead ores».—Trans. Amer. Geophys., V, XXVIII, 732-8. 1947.
157. SEZAWA, K., a. KANAI, K.: «The Effect of Distribution of Heat-generating sources on the Temperature Gradient in the Earth's Crust.»—Bull. Eart. Res. Inst. Tokyo Imp. Univ., XVIII, 137 a 49. 1940.
158. STARIK, I. E.: «Earth's age by radioactive data».—Absts. Papers. XVII, Int. Geol. Cong. Moscow, 1937, 192.
- 158\*. STBAD, F. W.: «Airborne Radioactivity Surveying Speeds Uranium Prospecting».—Eng. Mining. J. Sept. 1950.
159. STERN, M. O.: «The Masses of the Heavy Isotopes».—Rev. Mod. Physics. XXI, 316 a 21. 1949.
- 159\*. SUSS, H. E.: «Die Komische Häufigkeit der chemischen Elemente».—Experientia., V, 266 a 270. 1949.
- 159\*\*. — «Zur Frage nach dem Alter der Elemente».—Experientia., V, 278 y 279. 1949.
160. THOMPSON, S. G., GHIORSO, A., y SEABORG, G. T.: «The New Element Berkelium (Atomic Number 97)».—Physical Rev., LXXX, 781 a 789. 1950.

161. THOMPSON, S. G., STREET, K., GHIORSO, JR. A., y SEABORG, G. T.: «The New Element Californium (Atomic Number 98)».—Physical Rev., LXXX, 790-796. 1950.
162. — «Element 98».—Physical Rev., LXXVIII, 298-9. 1950.
163. TOLMAN, R. C.: «The age of the universe from the red shift in the spectre of extragalactic objects».—Science, LXXXII, 53. 1935.
164. URRY, W. M. D.: «Report on the progress of work on the determination of the helium-uranium, thorium ratios».—Rep. of the Com. on the Meas. Geol. Time, 1933, 32-3.
165. URRY, W. M.: «Post-keweenawan time scale».—Rep. of the Com. on the Meas. Geol. Time, 1936, 35 a 40.
166. VALBY, G. E., y ANDERSON, H. H.: «The relative abundance of the stable isotopes of terrestrial and meteoritic iron».—Physical Rev., LIX, 113-4. 1941.
- 166\*. — «A comparison of the Abundance Ratios of the Isotopes of Terrestrial and of Meteoritic Iron».—J. Am. Chem. Soc., LXIX, 1871 a 1875. 1947.
167. VAN HEBBRDEN, P. J.: «The crystal counter».—N. V. Noord-Hollandsche Uitgevers Maatschappig. 1945.
168. VINOGRADOV, A. P.: «A chemical study of the biosphere».—Pedology (U. R. S. S.), 348 a 54. 1945.
169. VON GROSSE, A., y LIBBY, W. F.: «Cosmic radiocarbon and natural radioactivity of living matter».—Science, CVI, 88-9. 1947.

170. VORHOVGEN, J.: «Source-Rock of Lead Ores and the Age of the Granitic Layer».—*Nature*, CLXIV, 72. 1949.
171. WALLEY, G. E., a. ANDERSON, H. H.: «The Relative Abundance of the Stable Isotopes of Terrestrial and Meteoritic Iron».—*Physical Rev.*, LIX, 113-4. 1947.
172. WARD, A. G.: «A new method of determining half-value periods from observations with a single Geiger counter».—*Proc. Roy. Soc.* CLXXXI, 183 a 197. 1942.
173. WASHINGTON y RÖSCH, 1933: Tomado de la obra de Fersman (19).
174. WATAGIN, G.: «On the Formation of Chemical Elements Inside the Stars».—*Physical Rev.*, LXXIII, 79. 1948.
175. WEAVER, B.: «Mass Assignment of Natural Activity of Samarium».—*Physical Rev.*, LXXX, 301. 1950.
176. WICKMAN, F. E.: «Some graphs on the calculation of geological age».—*Sver. Geol. Unders. Ser. C*, n.º 427. 1939.
177. — «On the Emanating Power and the Measurement of Geological Time».—*Geol. Fören. Förhandl.*, LXIV, 465 a 476. 1942.
178. — «A graph for the calculation of the age of minerals according to the lead method».—*Sver. Geol. Unders., Ser. C*, n.º 458. 1943.
179. — «Isotope ratios. A clue to the age of certain marine sediments».—*J. Geol.*, LVI, 61 a 66. 1948.
180. WILKINS, T. R.: «Upper limit to geologic time».—*Rep. of the Com. on the Meas. Geol. Time*, 1938, 94-5.
181. WILKINS, T. R., y DEMPSTER, A. J.: «The radioactive

- isotope of samarium».—*Rep. of the Com. on the Meas. Geol. Time*. 1938, 95.
182. YAGODA, H.: «The localization of uranium and thorium minerals in polished section. Part I: The alpha-ray emission pattern».—*Amer. Min.*, XXXI, 87 a 124. 1946.
183. — «Activity measurements of micro-radioactive inclusions».—*Bull. Geol. Soc. Amer.*, LIX, 1365-66. 1948. *Amer. Min.*, XXXIV, 285. 1949.
184. — «Radioactive Measurements with Nuclear Emulsions».—*Wiley.*, New York, 356 p. 1949.
185. YAGODA, H., a. KAPLAN, N.: «Spontaneous neutron emission from uranium and samarium».—*Physical Rev.*, LXXVI, 702-3. 1949.
186. YAGODA, H., y WHITE, W. C.: «Ratio of  $N^{15}/N^{14}$  in gases occluded in radioactive minerals».—*Physical Rev.*, LXXVIII, 330. 1950.
- 28\*. BULLEN, K. E.: «An introduction to the Theory of Seismology».—*Cambridge*, 1947.
- 41\*. FEATHER, N., y BRETSCHER, E.: «Atomic numbers of the so-called transuranic elements».—*Nature*, CXLIII, 516. 1939.
- 32\*\*. DALY, R. A.: «Igneous rocks».—1933.
- 128\*. MAURER, V., y POSE, H.: «Neutronemission des Urankerns als Folge seiner spontanen Spaltung».—*Zs. f. Phys.* CXXI, 285 a 292. 1943.
- 157\*. SHAPLEY, H.: «On the astronomical dating of the earth's crust».—*Am. J. Sci.*, CCXLIII, 508 a 522. 1945.
- 170\*. VRIES, H. DE, y GROENDYK, H.: «Evidence against spontaneous emissions of neutrons by uranium X».—*Nature*, CLX, 435 y 36. 1947.

$\log \frac{Pb^{207}}{Pb^{206}}$

0 5 10 15 20 25 30  
% DE PERDIDA DE EMANACIÓN -

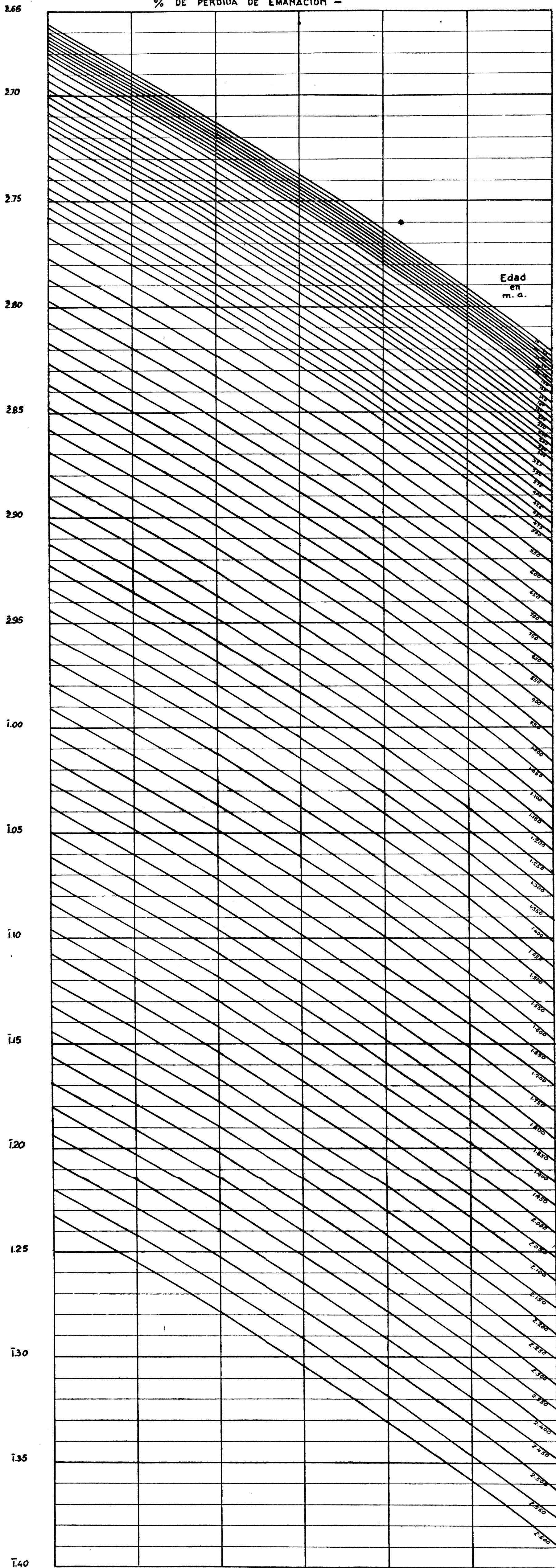


Fig. IV-4.—Gráfica para cálculo de edades por la relación  $\frac{Pb^{207}}{Pb^{206}}$  con pérdidas de emanación de 0 a 30 %.



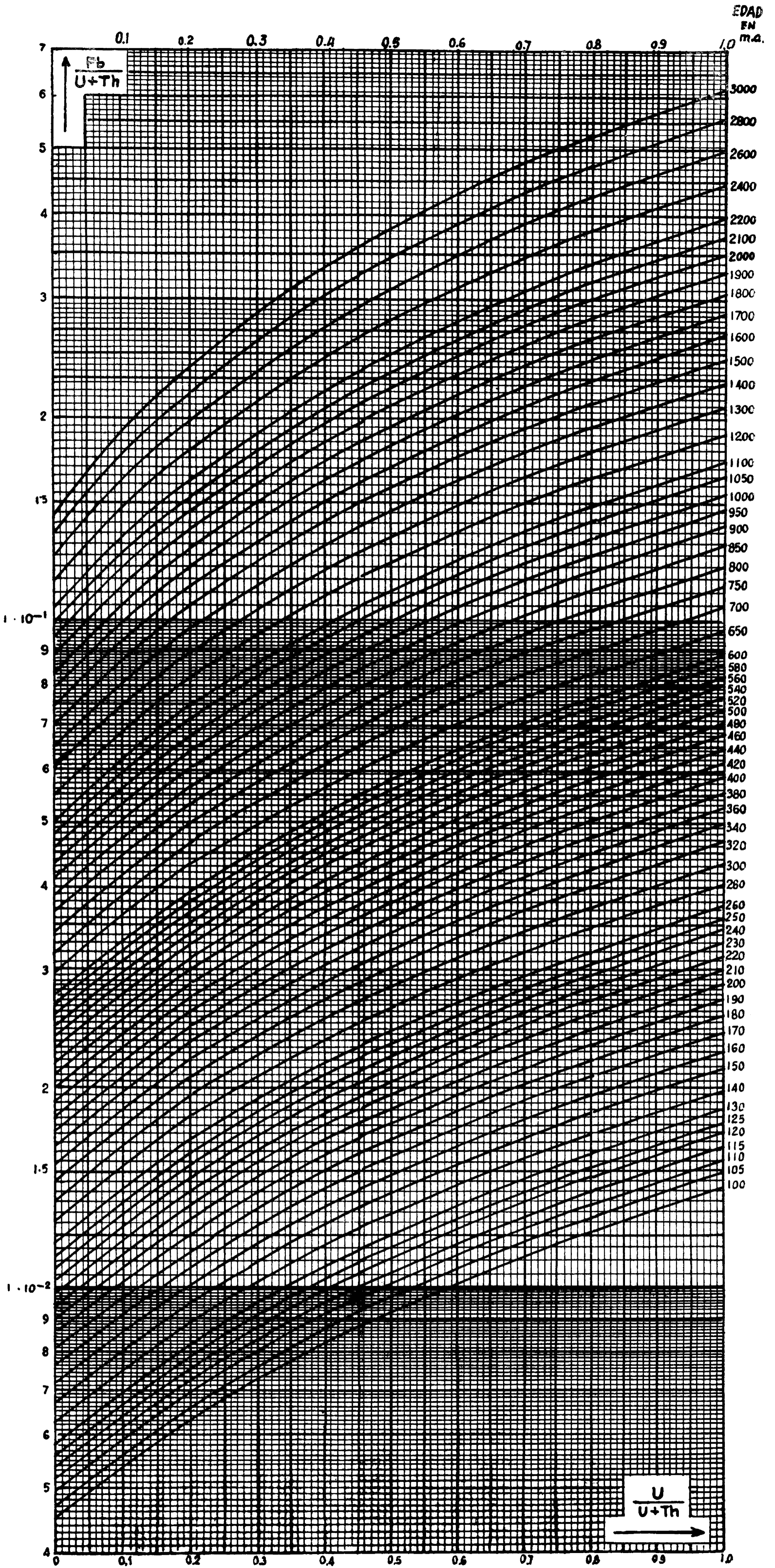


Fig. III-1.—Gráfica para cálculo de edades por las relaciones  $\frac{Pb}{U + Th}$  y  $\frac{U}{U + Th}$

$\log \frac{Pb^{206}}{U}$ 

0. 5. 10. 15. 20. 25. 30.

% DE PERDIDA DE EMANACION. —

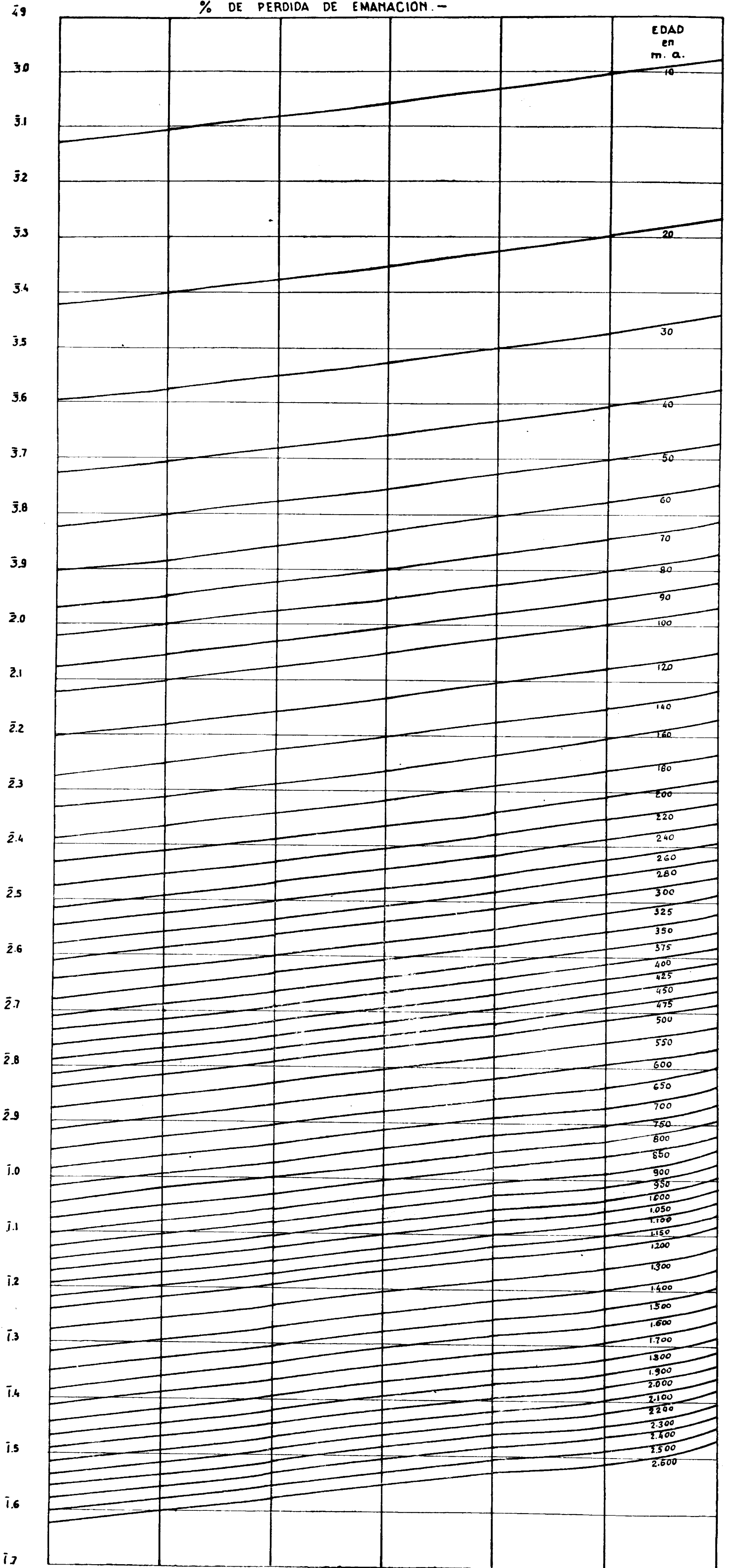


Fig. IV-5.—Gráfica para cálculo de edades por la relación  $\frac{Pb^{206}}{U}$  con pérdidas de emanación de 0 a 30 %

## NOTACIÓN

- $\alpha$ .—Partícula alfa.
- $\beta^+$ .—Positón.
- $\beta^-$ .—Negatón.
- $\gamma$ .—Radiación gamma.
- $\nu$ .—Frecuencia.
- $\lambda$ .—Longitud de onda.
- $\lambda_N$ .—Probabilidad de transformación.
- $\theta$ .—Tiempo existido por todos los átomos.
- $\mu$ .—Coeficiente de absorción.
- $|\epsilon|$ .—Energía de ligado.
- $c$ .—Velocidad de la luz.
- $c$ .—Curio.
- $d$ .—Deutón.
- $d$ .—Espesor, protecciones y filtros.
- $e$ .—Espesor, formaciones.
- $\bar{e}$ .—Electrón de conversión.
- $h$ .—Cuántum de acción.
- $h_1$ .—Número de átomos producidos en la unidad de tiempo.
- $k$ .—Coeficiente de permeabilidad en la emanación.
- $\ln$ .—Logaritmo de base  $e$ .



- m.—Número de átomos transformados.  
 m'.—Masa del electrón.  
 n.—Neutrón.  
 p.—Protón.  
 r.—Radio esfera.  
 r.—Roentgenio.  
 rd.—Rutherfordio.  
 r. e.—Roentgenio equivalente.  
 r. e. b.—Roentgenio equivalente biológico.  
 r. e. p.—Roentgenio equivalente físico.  
 r. h. m.—Roentgenio por hora a un metro.  
 t.—Tritón.  
 v.—Velocidad electrón.  
 c.—Como subíndice, cantidad que pasó a la corteza.  
 m.—Como subíndice, cantidad que pasó al manto.  
 A.—Número másico.  
 A y B.—Constantes de la ley de Geiger.  
 A, B, C.-M.—Número de átomos de un elemento.  
 E.—Energía.  
 $E_{\max}$ .—Energía máxima de las partículas  $\beta$ .  
 I.—Número de partículas transmitidas.  
 $I_0$ .—Número de partículas incidentes.  
 K.—Captura.  
 L.—Vida media.  
 $M_N$ .—Masa del elemento N.  
 N.—Número de átomos sin evolucionar.  
 $N_0$ .—Número de átomos en el momento inicial.  
 $N_t$ .—Número de átomos en el momento  $t$ .  
 $P_e$ .—Poder de emanación.  
 R.—Alcance de las partículas  $\alpha$ .  
 $R'_{n(e)}$ .—Pérdida superficial de emanación por el espesor  $e$ .  
 S.—Superficie libre.  
 $T_N$ .—Período.

- V.—Volumen.  
 A.—Relación Pb en corteza y manto al formarse la corteza.  
 B.—Relación U en corteza y manto al formarse la corteza.  
 C.—Relación Th en corteza y manto al formarse la corteza.  
 E.—Como subíndice, concentración en equilibrio radiactivo.



## CONSTANTES

Número de Avogadro.	$6.02402 \times 10^{23} \text{ g. mol}^{-1}$	Q.
	$6.02564 \times 10^{23} \text{ g. mol}^{-1}$	F.
Constante de Planck .	$6.62370 \times 10^{-27} \text{ erg s.}$	
Velocidad de la luz ...	$0.299790 \times 10^6 \text{ Km. s}^{-1}.$	
Relación pesos atómicos F/Q.....	1.00027	
Masa electrón .....	$9.10715 \times 10^{-28} \text{ g.}$	
Carga electrón .....	$4.80215 \times 10^{-10} \text{ esu.}$	
	$1.60184 \times 10^{-20} \text{ e mu.}$	
Carga electrónica específica.....	$1.75889 \times 10^7 \text{ e m ug}^{-1}.$	
Radio electrón .....	$2.81750 \times 10^{-4} \text{ cm.}$	
Longitud de onda asociada a 1 ev .....	$1.23963 \times 10^{-12} \text{ cm.}$	
Energía asociada con 1 ev.....	$1.60184 \times 10^{-12} \text{ erg.}$	
Velocidad 1 ev .....	$5.93110 \times 10^7 \text{ cm s}^{-1}$	
Relación masas protón electrón .....	$1.83609 \times 10^3.$	
Peso atómico electrón.	$5.48742 \times 10^{-8}$	F.
	$5.485931 \times 10^{-8}$	Q.
Peso atómico hidrógeno .....	1.00813	F.

Peso atómico protón...	1.00758	F.
Conversión unidad ma- sa eng. en Mev.....	$9.31135 \times 10^2$	Mev.
Energía equivalente electrón masa .....	0.51097	Mev.
Curio .....	$3.71 \times 10^{10}$	desintegraciones $s^{-1}$ .
Rutherfordio .....	$10^6$	desintegraciones $s^{-1}$ .
1 Mev = $1.07 \times 10^{-8}$ um =	$1.6 \times 10^{-6}$	erg = $4.45 \times 10^{-20}$ KWh.
1 um = 931 Mev. =	$1.49 \times 10^{-8}$	erg = $4.15 \times 10^{-17}$ KWh.
1 erg = 671 um =	$6.24 \times 10^5$	Mev. = $2.78 \times 10^{-14}$ KWh.
1 KWh = $2.41 \times 10^{16}$ um =	$2.25 \times 10^{19}$	Mev. = $3.60 \times 10^{18}$ erg.

## ÍNDICE ONOMÁSTICO (\*)

- Abbad (M.):** página 268.  
**Adams:** 65, 215.  
**Ahrens (L. H.):** 145, 189, 190, 240, 257, 258.  
**Aldrich:** 190.  
**Alpher (R. A.):** 88, 184, 258.  
**Alvarez (L.):** 57.  
**Anderson (E. C.):** 9, 11, 13, 78, 258, 265.  
**Anderson (H. H.):** 273, 274.  
**Argone:** 71.  
**Arizona:** 171.  
**Arnold (J. R.):** 246, 258, 265.  
**Aston (R. W.):** 259.  
**Atomic Energy Commision:** 65, 130.  
**Austria:** 171.  
**Avogadro (Conde de):** 281.
- Badajoz:** 122.  
**Balsareny:** 221.  
**Báltico (Escudo):** 241.  
**Baranovskaya (V. V.):** 264.  
**Barcelona:** 4, 122.  
**Barrell (J.):** 243.  
**Becker (H.):** 12.  
**Beckerel (H.):** 7, 10, 30.  
**Bell (P. R.):** 259, 264.  
**Berg (G.):** 183, 195, 259.  
**Bethe (H.):** 88.  
**Birch (F.):** 259.  
**Birge (R. T.):** 14.  
**Bleuler (E.):** 190, 192, 259.  
**Bohemia:** 171.
- Boltwood:** 243.  
**Bonner (N. A.):** 261.  
**Borst (L. B.):** 192, 261.  
**Bok (B. J.):** 239, 259.  
**Boston:** 32.  
**Bothe (W.):** 12, 68.  
**Bragg (W. H.):** 36, 56.  
**Bramley (A.):** 236, 259.  
**Bretscher (E.):** 8, 275.  
**Brewer (A. K.):** 236, 259.  
**Brickwedde (F.):** 14.  
**Broken Hills:** 171.  
**Brown (H. S.):** 78, 87, 182, 184, 218, 259, 260, 264.  
**Bruselas:** 24.  
**Bucherer:** 10.  
**Bullard (E. C.):** 177, 239, 260.  
**Bullen (K. E.):** 229, 275.
- Cáceres:** 122.  
**Canadá:** 118, 169, 171.  
**Canarias:** 220.  
**Cañón del Colorado:** 78.  
**Cañón del Diablo:** 78.  
**Carbonell (A.):** 121, 242.  
**Cardona:** 220, 221.  
**Carelia:** 240, 241, 265.  
**Carolina (N.):** 171.  
**Casares (R.):** 260, 268.  
**Cassidy (J. M.):** 259.  
**Ceccarelli (M.):** 260.  
**Ciausthal:** 171.  
**Columbia:** 69.  
**Clarke (F. W.):** 183.

(\*) En este índice figuran los nombres de todos los autores, localidades y entidades mencionados.

- Colmenarejo: 242.  
 Comitte on the Measurement of Geologic Time: 240, 242, 243.  
 Compton (A.): 58, 69.  
 Condon (E. U.): 26.  
 Córdoba: 242, 260, 268.  
 Coulomb (C. A.): 16.  
 Crookes (W.): 31.  
 Curie (I.): 8, 9.  
 Curie (M.): 24.  
 Curtiss (L. F.): 26, 260.
- Chadwick (J.): 9, 12.**  
 Chalk River: 71.  
 Chalmers (B.): 237, 260.  
 Chalmers (J. A.): 237, 260.  
 Chalmers (T. A.): 67.  
 Chamberlain (O.): 65, 66.  
 Chandrasekhar (S.): 260.  
 Chornaya Salma: 240, 241.  
 Chatillon: 71.  
 Chicago: 26, 69.
- Daly (R. A.): 226, 275.**  
 Daurer (W.): 260.  
 Davis (G. L.): 260, 261.  
 Delaney (C. F. G.): 270.  
 Dempster (A. J.): 274.  
 Díaz de Rada (F.): 22.  
 Dolezalek: 41.  
 Durango: 171.
- Eddington (A. S.): 239, 261.**  
 Eiffel: 171.  
 Einstein (A.): 9, 80.  
 Eklund (S.): 241, 261.  
 Ellis (C. D.): 57.  
 Engler: 28.  
 EPALE: 4.  
 Erös (N.): 195, 261.  
 España: 121, 123, 163.  
 Estados Unidos de N. A.: 118, 130.  
 Evans (R. D.): 78, 189, 190, 241, 258, 261, 271.
- Feather (N.): 8, 275.**  
 Fermi (E.): 8, 12, 53, 69.  
 Fernando (manantial): 23, 29.  
 Fersman (A. F.): 215, 240, 261.  
 Flammersfeld (A.): 269.  
 Flerov (G. N.): 270.  
 Floyd (J. J.): 192, 261, 275.  
 Foster Flint (R.): 261.  
 Frankel: 22.  
 Franklin: 171.  
 Freiberg: 171.
- Fuenteovejuna: 121, 128.
- Gabriel (M.): 190, 192, 259.**  
 Gamow (G.): 88, 184, 261.  
 Garner (C. S.): 261.  
 Geiger (W.): 29, 32, 37, 48, 55, 61, 64, 107, 138, 140, 278.  
 Geological Survey (U. S.): 129.  
 Gerling (E. K.): 177, 238, 262, 264.  
 Ghiorso (A.): 262, 272, 273.  
 Gil y Gil (C.): 73.  
 Gleditsche (E.): 262.  
 Goldberg (E.): 184, 259, 264.  
 Goldschmidt (V. M.): 87, 262.  
 Goldstein (E.): 13.  
 Goodmann (C.): 261.  
 Graf (T.): 262.  
 Graves (A.): 63, 262.  
 Great Bear Lake: 169, 171.  
 Gregoire (R.): 262.  
 Groendyk (H.): 275.  
 Güllhögen: 154.  
 Gutenberg (B.): 239, 262.
- Hagemann (F.): 91, 262.**  
 Hahn (O.): 8.  
 Halloy: 243.  
 Hanford: 69, 71.  
 Hardeck (P.): 263.  
 Harwell: 71.  
 Harz: 171.  
 Hastings (J. L.): 271.  
 Hayden (R. J.): 264.  
 Henderson (G. H.): 140, 263.  
 Herman (R. C.): 184, 258.  
 Hess (D. C.): 78, 264.  
 Hess (H. H.): 261.  
 Hill (W. S.): 263.  
 Hiroshima: 74.  
 Hofstadter (R.): 263.  
 Holmes (A.): 175, 176, 177, 178, 223, 239, 241, 243, 263.  
 Hornachuelos: 121, 128.  
 Houtermans (F. G.): 177, 241, 264.  
 Hoyle (F.): 87.  
 Hubble (E. P.): 264.  
 Huesca: 122.  
 Hurom Claim: 241.  
 Hutton (J.): 243.
- Idaho: 171.  
 Inghram (M. G.): 78, 260, 264.  
 Inglaterra: 118.  
 Instituto Geológico y Minero de España: 3, 4.  
 Instituto Nacional de Geofísica: 3, 7.

- Instituto de Radiactividad: 3.  
 Instituto del Radio: 25.  
 Irich: 139.  
 Ivigtut: 171.
- Jeffreys (H.): 3, 78, 191, 192, 264.**  
 Jersey (N.): 171.  
 Joly (J.): 138, 139, 243.  
 Jolliot (F.): 8, 9.  
 Joplin: 171, 177.  
 Jordan (W. H.): 264.
- Kanai (K.): 272.**  
 Kaplan (N.): 56, 67, 275.  
 Karelia: 240, 241, 265.  
 Katzin (L. I.): 262.  
 Keevil (N. B.): 90, 264, 272.  
 Kelvin (Lord): 243.  
 Khlopin (V. G.): 240, 241, 264.  
 Kirshenbaum (A. D.): 258.  
 Kniper (G. P.): 265.  
 Koengsberger: 219.  
 Knopf (A.): 243.  
 Kowarik (A. F.): 65, 243.  
 Krusch (P.): 257.
- La Coruña: 124.**  
 La Toja: 23, 24, 29.  
 Labuntzov (A. N.): 240.  
 Lake-Wiorhipog River: 241.  
 Lane (A. C.): 243, 265.  
 Langban: 171, 241.  
 Lanzarote: 220.  
 Laplace (P. S.): 243.  
 Leaders (W. M.): 265, 271.  
 Leal (J.): 260, 268.  
 Libby (W. F.): 98, 246, 258, 265, 269, 273.  
 López de Azcona (J. M.): 260, 265, 266, 267, 268, 269.  
 Lorenz (E.): 74.  
 Los Alamos: 71.  
 Los Barrancos (manantial): 22.  
 Lyell (C.): 243.
- Macnamara (J.): 78, 268, 269.**  
 Madrid: 122, 242, 260.  
 Magdebourg: 220.  
 Manitoba: 240, 241, 257.  
 Marble (J. P.): 243.  
 Marealbian: 241.  
 Martell (E. A.): 98, 269.  
 Masachs (V.): 220.  
 Mattauch (S.): 92, 182, 247, 269.  
 Maurer (W.): 91, 275.  
 McCormick (R. C.): 270.  
 Mcgee: 243.
- Menzel (D.): 14.**  
 Metalina Falls: 171.  
 México: 171, 178.  
 Meyer (S.): 238, 269.  
 Michigan: 129.  
 Miholic (S.): 269.  
 Mina Casapalca: 171.  
 Mina La Coma: 242.  
 Mina Sonora: 171.  
 Mina Tetreaul: 171.  
 Mir Amorós (J.): 269.  
 Missouri: 171.  
 Mitchell (J. S.): 75.  
 Montaña de Fuego: 220.  
 Mount Wilson: 236.  
 Muñoz del Castillo (J.): 3.  
 Murphy (B. F.): 269.  
 Murphy (G.): 14.  
 Myers (O. E.): 269.
- Naldrett (S. N.): 269.**  
 Nagasaki: 74.  
 Nass-au: 171.  
 Neddermeyer (S.): 9, 13.  
 Nenadkevich: 240.  
 Nier (A. O.): 65, 66, 91, 92, 137, 168, 169, 170, 177, 178, 190, 269.  
 Noddach (I.): 270.  
 Noddach (W.): 270.  
 Noetzlin (J.): 223, 227, 270.  
 Nuttal (J. M.): 61, 64, 138, 140.
- Oak Ridge: 71.**  
 Orr (J. B.): 270.
- Palacios (J.): 73.**  
 Panasyuk (I. S.): 270.  
 Paneth (F. A.): 242, 270.  
 Paris: 24, 25.  
 Parker (H. M.): 27.  
 Patterson (C.): 78, 260, 264.  
 Pauli (W.): 53.  
 Perfilow (N. A.): 270.  
 Perlman (M. L.): 272.  
 Perú: 171, 178.  
 Petzhak (K. A.): 270.  
 Picciotto (E. E.): 270.  
 Piggot (Ch. S.): 91, 270.  
 Pitzbuhl: 220.  
 Planck (M.): 281.  
 Playfair: 243.  
 Pontevedra: 124.  
 Poole (J. H. J.): 270.  
 Pose (H.): 91, 275.  
 Pringle (R. W.): 271.  
 Przibram: 171.

- Purkayustha (B. C.): 271.
- Quareni (G.): 260.  
Quebec: 171.
- Rajewsky: (B.): 75.  
Rankama (K.): 168, 271.  
Ransay (W.): 7.  
Reid (A. F.): 258.  
Rosenfeld (L.): 81, 257.  
Rösch: 182, 274.  
Rostegne (A.): 260.  
Roulston (K. I.): 271.  
Royds (T.): 10.  
Russell (W. L.): 131, 271.  
Rutherford (E.): 7, 10, 56, 57, 138, 139, 140.
- Sajonia: 171.  
Sakata (S.): 57.  
Salamanca: 4.  
San Joaquín: 24, 72.  
Saraiva de Toledo (P.): 88, 271.  
Sawyer (G. A.): 190, 271.  
Sallent: 221.  
Samvilovich Vein: 240.  
Schladenbach: 220.  
Schneberg: 72, 75.  
Schumb (W. C.): 78.  
Seaborg (G. T.): 106, 247, 261, 262, 272, 273.  
Segovia: 122.  
Segre (E.): 272.  
Senftle (F. E.): 272.  
Sevres: 25.  
Sezawa (K.): 272.  
Shapley (H.): 236, 275.  
Sievecking: 28.  
Sierra de la Albarrana: 163, 242, 266, 268.  
Sinyaya Pala: 240.  
Sirio: 79.  
Soddy (F.): 7, 8.  
St. Joachimsthal: 24, 72.  
St. Louis: 140.  
Standil (S.): 271.  
Stanley (J. P.): 177, 239, 260.  
Starik (I. E.): 239, 272.  
Stead (F. W.): 129, 272.  
Stern (M. O.): 272.  
Strassmann (F.): 8.  
Street (K.): 273.  
Studier (M. H.): 262.  
Suecia: 139, 154, 163, 171, 241.
- Suess (H. E.): 190, 233, 238, 263, 272.  
Súria: 271.  
Szilard (L.): 67.
- Thode (H. G.): 78, 268, 269.  
Thompson (R. W.): 269.  
Thompson (S. G.): 272, 273.  
Thomson (J. J.): 9, 10.  
Tolman (R. C.): 273.  
Tucson (Mts.): 171.
- Urly (H.): 14.  
Urry (W. M.): 243, 273.  
Ursher (Arzobispo): 243.
- Valdemorillo: 22.  
Valley (G. E.): 78, 273.  
Van Heerden (P. J.): 33, 273.  
Varutrask: 241.  
Vesubio: 225.  
Vinogradov (A. P.): 130, 273.  
Vladimirova (M. E.): 240, 264.  
Von Grosse (A.): 258, 273.  
Vorhovgen (J.): 274.  
Vries (H. de): 56, 275.
- Wahlen: 145.  
Wales (N. S.): 171.  
Walker (R. L.): 63, 262.  
Wallace: 171.  
Walley (G. E.): 274.  
Ward (A. G.): 62, 274.  
Washington: 69, 171.  
Washington: 182, 274.  
Wataghin (G.): 87, 88, 271, 274.  
Watson (F. G.): 239, 259.  
Weaver (B.): 274.  
Weinhouse (S.): 258.  
White (W. C.): 275.  
Wickman (F. E.): 5, 144, 145, 149, 150, 154, 162, 183, 274.  
Wiedenbeck (M. L.): 190.  
Wien (W.): 9.  
Wilkins (T. R.): 238, 265, 274.  
Wilson (C. T. R.): 11, 33, 34.  
Williams (D.): 65, 66.
- Yagoda (H.): 56, 67, 275.  
Yaiza: 220.  
Yancey Co.: 171.  
Ytterby: 139.  
Yukawa (H.): 13, 57.  
Yuster (P.): 65, 66.

## ÍNDICE DE MATERIAS

- Acciones: 30.  
Actinouranio (familia del): 91, 92, 100, 105, 106, 107.  
Adelfolita: 108.  
Aeschinita: 108.  
Aire emanado (prospección por el): 127.  
Alcance partículas alfa: 55, 61.  
Alfa (alcance partículas): 55, 61. (contadores para partículas): 51. (electroscopios para partículas): 40. (emisión): 54. (ionización medio): 56. (medición partículas): 35. (partículas): 7, 10. (protección radiación): 76.  
Alvita: 108.  
Allanita: 108.  
Ampangabita: 108.  
Analizador de mineral: 125.  
Andersonita: 108.  
Anglesobarita: 108.  
Annerodita: 108.  
Antracólita: 109.  
Arrenita: 109.  
Asfaltita: 109.  
Átomos (vida media de los): 19.  
Auerlita: 109.  
Aureolas pleocroicas (edades): 137.  
Autunita: 109, 120, 121, 122, 124.
- Baileyita: 109.  
Balance energético terrestre: 222.  
Barn: 69.  
Basetita: 109.  
Bastnaesita: 109.
- Becquerelita: 109.  
Beta (contadores para partículas): 50. (electroscopios para partículas): 40. (emisión): 53. (energía media): 53. (medición partículas): 37. (partículas): 10. (protección radiación): 76.  
Betafita: 109, 121, 124.  
Bibliografía: 257.  
Billietita: 109.  
Blomstrandina: 109.  
Blomstrandinita: 109.  
Blomstrandita: 109.  
Bragita: 109.  
Brannerita: 109.  
Brogerita: 109.  
Broggita: 109.
- Cadenas de emisiones (fórmulas para): 19.  
Caliocarnotita: 109.  
Calciosamarsquita: 109.  
Calciotantalita: 109.  
Calciotorita: 109.  
Calciovobortita: 109.  
Calcouranita: 109.  
Cálculo de energía: 60.  
Caliptolita: 109.  
Calor de origen radiactivo: 219, 230. producido en el planeta por la desintegración de los átomos radiactivos: 228, 232. anual por gramo de elemento radiactivo: 231.  
Calorífica (acción): 34.

- Cámara de ionización: 38.  
 Cámara de niebla: 33.  
 Cantidades actuales de U, AcU y Th: 193.  
 Cantidades al formarse la corteza terrestre de U, AcU y Th: 193.  
 Capelanita: 109.  
 Captura K: 15.  
 Carbono 14 (familia del): 99, 101, 245.  
 Carburan: 110.  
 Carga eléctrica elemental: 281.  
 electrón: 281.  
 electrónica específica: 281.  
 Cariocerita: 110.  
 Carnotita: 110, 120, 124, 126.  
 Cerita: 110.  
 Ceunerita: 110.  
 Cipeita: 110.  
 Circonio: 110.  
 Girkelita: 110.  
 Cirquelita: 110.  
 Cirtolita: 110.  
 Clarkeita: 110.  
 Clarqueita: 110.  
 Clases de emisión: 52.  
 Clasificación de los plomos: 90 al 94.  
 Cleveita: 110.  
 Clopinita: 110.  
 Clorotorita: 110.  
 Colm: 110.  
 Columna geológica: 243.  
 Compton (efecto de): 58.  
 Composición isotópica (identidad de): 78, 79.  
 de los elementos: 90, 95.  
 del plomo aborigen: 175.  
 del plomo actual: 175.  
 Computadores: 47.  
 con amplificación de la ionización: 48.  
 con amplificación por emisión secundaria: 52.  
 sin amplificación: 47.  
 Condensante (acción): 33.  
 Constante de desintegración: 17.  
 de Planck: 281.  
 radiactiva (su determinación): 61.  
 Consumo de energía: 223.  
 Contadores (detección de minerales radiactivos): 125.  
 para partículas alfa: 51.  
 para partículas beta: 50.  
 para prospección: 129.  
 para rayos gamma: 50.  
 Contaminación (índice de): 153, 190.  
 de plomos: 94.  
 Contenido en nuestro planeta de elementos radiactivos: 217.  
 Conversión energía en masa: 58, 80, 282.  
 interna: 57.  
 masa en energía: 79, 282.  
 Coracita: 110.  
 Corcym enigmaticum: 168.  
 Cordilita: 110.  
 Corduvita: 110, 121.  
 Correcciones en las medidas de edades: 151.  
 en edades por familias largas: 152.  
 en edades por métodos generales: 151.  
 Corteza terrestre radiactiva: 198, 238.  
 Corvusita: 110.  
 Creación continua de la materia: 87.  
 de la materia: 83.  
 Criptolita: 110.  
 Cuanto elemental: 281.  
 Cuenca potásica catalana (grado geotérmico medio): 221.  
 Cuerpo humano (radiactividad): 246.  
 Cuproslodowskita, 110.  
 Cuprouranita: 110.  
 Curio: 25, 282.  
 Curita: 110.  
**Chalcolamprita: 110.**  
 Chalcolita: 110, 120.  
 Chevquinita: 110.  
 Chincolovita: 110.  
 Chinglusita: 110.  
**Dakeita: 110.**  
 Davidita: 111.  
 Defecto másico: 81.  
 Delorencita: 111.  
 Denominación de los elementos: 90.  
 de los plomos: 90 a 94.  
 Descubrimiento radiactividad: 7.  
 Descarga espontánea: 44.  
 Desintegración (esquema de): 59.  
 natural de los átomos: 7.

- Detección de los minerales radiactivos: 124.  
 Detector de Geiger: 48.  
 de extinción: 31.  
 Destellante (acción): 31.  
 Deuterio: 14, 15.  
 Deutón: 14, 15.  
 (emisión de): 56.  
 Devindtita: 111.  
 Diderichita: 111.  
 Distribución del U, Th y Pb en la corteza y manto terrestre: 202.  
 Djalmita: 111.  
 Dosis de tolerancia: 75.  
 Droogmansita: 111.  
 Dumontita: 111.  
**Edad (corrección): 151.**  
 (índice de): 95, 149, 168.  
 (interpretación): 151.  
 (medición de): 137.  
 (medición por aureolas pleocroicas): 137.  
 (medición por el helio): 140.  
 (medición por el método general): 142.  
 (medición por el plomo): 145.  
 (medición por Rb/Sr): 145, 151.  
 (medición por técnicas varias): 149.  
 aparente: 152.  
 arqueología: 235, 244.  
 geológica: 235, 240.  
 por métodos radiactivos: 235.  
 real: 152.  
 uranológica: 235.  
 Edwardsita: 111.  
 Bitlandita: 111.  
 Efecto de Compton: 58.  
 Electrómetro: 41.  
 Electrón de conversión: 13.  
 orbital (captura de): 57.  
 pesado: 13.  
 Electroscopio: 39.  
 Elementos (denominación de los): 90.  
 (proceso de formación): 79.  
 aborígenes: 92.  
 actuales: 92, 93.  
 comunes: 92, 93.  
 primarios u originarios: 90, 92.  
 radiactivos: 77.  
 radiactivos (contenido en nuestro planeta): 217.  
 radiactivos (reservas planetarias): 193, 215.  
 radiactivos (variación con el tiempo): 215.  
 radiactivos como indicadores: 132.  
 radiogénicos: 77, 92, 94.  
 radiogénicos estables: 90, 91.  
 radiogénicos radiactivos: 90, 91.  
 Eliasita: 111.  
 Ellsworthita: 111.  
 Eman: 28.  
 Emanación (pérdida de la): 162.  
 (poder de): 154, 165, 166, 167.  
 Emisión (clases de): 52.  
 Enalita: 111.  
 Endeolita: 111.  
 Energetización de la masa: 79, 282.  
 Energía (cálculo de la): 60.  
 (consumo de): 223.  
 Energía asociada con un ev: 281.  
 equivalente electrón masa: 282.  
 de ligado: 81.  
 de ligado (curva de): 82.  
 en masa (transformación de): 58, 80, 282.  
 Epiantinita: 111.  
 Equilibrio radiactivo: 21.  
 Eremita: 111.  
 Escalas: 52.  
 Escisión espontánea: 56.  
 espontánea del uranio: 241, del uranio: 8.  
 Eschinita: 111.  
 Eschwegita: 111.  
 Espesor de las formaciones: 162.  
 Espintariscopio: 31.  
 Esquema de desintegración: 59.  
 Eucrasita: 111.  
 Euxenita: 111, 120.  
 Exintilación (detector de): 31.  
**Familia del C<sup>14</sup>: 99, 101, 245.**  
 del I<sup>131</sup>: 99, 100, 101.  
 del K<sup>40</sup>: 100, 101.  
 del La<sup>138</sup>: 100, 101.  
 del Lu<sup>176</sup>: 100, 101.  
 del Rb<sup>87</sup>: 100, 101.  
 del Re<sup>187</sup>: 100, 101.  
 del Sm<sup>147</sup>: 100, 101.  
 del Sn: 98.  
 radiactiva 4 n: 91, 92, 100, 102, 107.

- radiactiva  $4n + 1$ : 91, 92, 100, 103, 106, 107, 139, 233.  
 radiactiva  $4n + 2$ : 91, 92, 99, 104, 107.  
 radiactiva  $4n + 3$ : 91, 92, 100, 105, 106, 107.  
 Familias radiactivas (cabezas aparentes): 100.  
 Fenómenos orogénicos (consumo de energía): 224.  
 volcánicos (consumo de energía): 225.  
 Fergusonita: 111.  
 Ferrotorita: 111.  
 Fersmita: 111.  
 Fluorescente (acción): 31.  
 Flujo del calor interno del globo: 228.  
 Flutterita: 111.  
 Fondo del detector: 44.  
 Formación de los elementos: 79.  
 de los elementos (máximo del límite más cercano): 186.  
 de los elementos (mínimo del límite más lejano): 181.  
 Formanita: 111.  
 Fosfocarnalita: 112.  
 Fosfocerita: 112.  
 Fotografía (detección minerales radiactivos): 124.  
 Fotográfica (acción): 30.  
 Fotón: 9.  
 (efecto fotoeléctrico del): 59.  
 gamma: 58.  
 Fourmarierita: 112.  
 Fracción de compacidad: 80.  
 Frialita: 112.  
 Frenado: 70.  
 Fritzscheita: 112.  
 Gamma (contadores para rayos): 50.  
 (electroscopios para rayos): 40.  
 (emisión): 58.  
 (medición radiación): 37.  
 (protección radiación): 76.  
 (rayos): 9, 11.  
 (testificación): 129.  
 Gases (medición de radiactividad de): 29.  
 Geiger (detector de): 48.  
 Gilpinita: 112.  
 Gráfica cálculo edades  $\frac{Pb^{208}}{Th}$ : 146.  
 $\frac{Pb^{208}}{U}$ : 147.  
 $\frac{Pb^{207}}{Pb^{208}}$ : 148.  
 $\frac{Pb}{U + Th}$  y  $\frac{U}{U + Th}$  lám. final.  
 $\frac{Pb^{207}}{Pb^{208}}$  con pérdida de emanación: láminas final.  
 $\frac{Pb^{208}}{U}$  con pérdida de emanación: láminas final.  
 Grado geotérmico: 219.  
 medio de la cuenca potásica catalana: 221.  
 normal: 219.  
 Gramo de radio: 25.  
 Guadarramita: 112, 122.  
 Gummita: 112, 124.  
 Haddamita: 112.  
 Hagatalita: 112.  
 Hatchettolita: 112.  
 Helio (edades por): 140.  
 generado por U y Th (cantidad): 214.  
 Hiblita: 112.  
 Hidroëuxenita: 112.  
 Hidrosamarskita: 112.  
 Hidrotorita: 112.  
 Hielmita: 112.  
 Hjelmita: 112.  
 Hlopinita: 112.  
 Hoegtveitita: 112.  
 Hokutolita: 112.  
 Huttonita: 112.  
 Iantinita: 112.  
 Identidad de composición isotópica: 78, 79.  
 Impelente (acción): 33.  
 Indicadores radiactivos: 132.  
 Índice de contaminación: 153, 190.  
 de edad: 95, 149, 168.  
 Indio 115 (familia del): 98, 100, 101.  
 Inmutabilidad del período: 140.  
 Interpretación de las medidas de edades: 151.  
 de las valoraciones isotópicas: 168.  
 Ionización espontánea: 44.

- Ionizante (acción): 35.  
 Isikawaita: 112.  
 Isóbaros: 15.  
 Isómeros: 17.  
 Isótopos: 8, 15.  
 radiactivos (identificación fotográfica): 31.  
 radiactivos (su obtención): 67.  
 Itrialita: 113.  
 Itriumortita: 113.  
 Itrocolumbita: 112.  
 Itrocrasita: 112.  
 Itrogummita: 113.  
 Itroilmenita: 113.  
 Itroortita: 113.  
 Itrotantalita: 113.  
 Jachimovita: 113.  
 Johannita: 113.  
 Jonstrupita: 113.  
 K (captura): 57.  
 Kararveita: 113.  
 Kasolita: 113.  
 Klopinita: 113.  
 Kochelita: 113.  
 Kolm: 113.  
 Kondricovita: 113.  
 Koppita: 113.  
 Lambertita: 113.  
 Lantano: 138 (familia del): 100, 101.  
 Leptones: 14.  
 Lesiones: 73.  
 Ley de Geiger: 55.  
 de Geiger-Nuttal: 61, 64, 138, 140.  
 general de desintegración: 17.  
 de inercia de la energía: 80.  
 Leves matemáticas: 17.  
 Liebigita: 113.  
 Limitación geofísica de la probabilidad de transformación: 188.  
 Lindochita: 113.  
 Líquidos (medición de radiactividad de): 29.  
 Longitud de onda asociada a un ev: 281.  
 Lovchorrita: 113.  
 Lozoverita: 113.  
 Lutecio (años de formación del): 183.  
 Lutecio: 176 (familia del): 100, 101.  
 Mache: 28.  
 Mackintosita: 113.  
 Maitlandita: 113.  
 Manifestaciones energéticas: 227.  
 Manto terrestre radiactivo: 198.  
 Marcar: 134.  
 Marignacita: 113.  
 Masa del electrón en reposo: 281.  
 Masa en energía (transformación de la): 79, 282.  
 Masificación de la energía: 58, 80, 282.  
 Masuyita: 113.  
 Materia (creación de la): 83, 237.  
 (creación continua de la): 87.  
 (unidad de la): 77, 78, 79, 202.  
 (primigenia): 77, 83.  
 Máximo del límite más cercano de la formación de los elementos: 186.  
 Medición de las radiaciones: 28.  
 Medición de edades: 137.  
 (corrección): 151.  
 (interpretación): 151.  
 por aureolas pleocroicas: 137.  
 por el helio: 140.  
 por el método general: 142.  
 por el plomo: 145.  
 por Rb/Sr: 145, 151.  
 por técnicas varias: 149.  
 Medjidita: 113.  
 Melanocerita: 114.  
 Mendeleevita: 114.  
 Mengita: 114.  
 Mesón: 9, 12.  
 Mesotrón: 13.  
 Metaunita: 114.  
 Metachalcovita: 114.  
 Metasimpsonita: 114.  
 Metatorbernita: 114.  
 Microlita: 114.  
 Miligramo segundo de radio: 27.  
 Mineral más antiguo: 240.  
 Minerales radiactivos: 108.  
 (detección): 124.  
 (prospección): 124, 127.  
 de torio: 108.  
 de uranio: 108, 118.  
 Mínimo del límite más lejano de la formación de los elementos: 181.

- Moderadores: 70, 71.  
Momento de la formación de los núcleos de los elementos: 181.  
Monacita: 114, 122, 124.  
Monacitoid: 114.  
Mosandrita: 114.
- Naegita:** 114.  
**Nagatilita:** 114.  
**Naranjita:** 114, 123.  
**Nasturan:** 114.  
Necesidad de diferentes valores Pb/U para la corteza y manto: 196.  
**Negatón:** 9, 10, 53.  
**Neotantalita:** 114.  
**Neptunio (familia del):** 91, 92, 100, 103, 106, 107.  
**Neutrino:** 9, 11, 53.  
**Neutrón:** 9, 12.  
(electroscopio para): 40.  
(emisión): 56.  
(emisión natural): 56.  
(protección): 76.  
(testificación): 135.  
**Nicolayita:** 114.  
Niveles tolerancia: 73, 74.  
para el minero: 72.  
**Nivenita:** 114.  
**Nodita:** 114.  
**Notación:** 277.  
**Nucleones:** 14.  
**Núcleos activos:** 140.  
atómicos: 14.  
de los elementos (momento de formación): 181, 236.  
pasivos: 140.  
**Número de Avogadro:** 281.  
máscico: 14.  
ordinal: 14.  
**Nuoalita:** 114.
- Obtención transuránidos:** 8.  
**Ocre de uranio:** 114, 119, 121.  
**Oertstedita:** 114.  
**Orangita:** 114.  
**Ortita:** 114.  
**Oyamalita:** 114.
- Paraschoepita:** 114.  
**Parsonsita:** 114.  
**Partículas fundamentales:** 9.  
**Patrones de radio:** 24, 25.  
y unidades radiactivas: 24.  
**Pérdida de emanación:** 162.  
**Período:** 19.  
(inmutabilidad): 140.  
corto (su medición): 63.  
largo (su medición): 63.  
muy corto (su medición): 62.  
muy largo (su medición): 63.  
**Perla (detección minerales radiactivos a la):** 124.  
**Peso atómico electrón:** 281.  
hidrógeno: 282.  
protón: 282.  
**Pezblenda:** 115, 119, 121, 122, 124.  
**Pila nuclear:** 69.  
**Pilbarita:** 115.  
**Pirahita:** 115.  
**Pirocloro:** 115.  
**Pisekita:** 115.  
**Pittinita:** 115.  
**Pléyades radiactivas (tabla de):** 247.  
**Plomo (clasificación del):** 90 a 94.  
(distribución en corteza y manto terrestre): 202.  
(medición de edades): 145.  
(variación de la composición isotópica): 97.  
(variación con el tiempo): 205.  
aborigen (composición isotópica): 175.  
actual (composición isotópica): 175.  
común (valoraciones isotópicas): 169.  
común (variación de la composición isotópica): 170.  
generado por U y Th (cantidad de): 214.  
**Plomos (denominación de los):** 90 a 94.  
**Plumboniobita:** 115.  
**Poder de emanación:** 154, 165, 166, 167.  
**Policrasa:** 115.  
**Polimignita:** 115.  
**Positón:** 9, 10, 53.  
**Potasio 40 (familias del):** 100, 101.  
(años de formación del): 182.  
(limitación de su probabilidad de transformación): 188 a 192.  
(variación de la composición isotópica): 96.  
**Potencia radiactiva:** 22.  
**Priorita:** 115.  
**Probabilidad de transformación:** 17.

- (limitación geofísica de su valor): 188.  
**Proceso activación:** 23.  
**desactivación:** 23.  
formación elementos: 79.  
**Progresión (reacciones en):** 69, 70.  
**Prospección (contadores para):** 129.  
de minerales radiactivos: 124, 127.  
radiactiva desde avión: 129.  
**Protección:** 73, 75.  
**Protio:** 13, 15.  
**Protón:** 9, 13, 15.  
(emisión de): 56.
- Radiación nuclear:** 10.  
penetrante (prospección por la): 127.  
terrestre: 223.  
**Radiactividad (descubrimiento de la):** 7.  
artificial: 7, 8.  
cuerpo humano: 246.  
**Radio (contenidos en):** 130, 131.  
(familia del): 91, 92, 99, 104, 107.  
**Radio del electrón:** 281.  
**Randita:** 115.  
**Rauvita:** 115.  
**Rayos gamma:** 9, 11.  
X: 9, 13.  
**Reacción en progresión;** 69, 70:  
**Reacciones nucleares (notación):** 68.  
(debidas a neutrones cósmicos): 99.  
(debidas a neutrones terrestres): 106.  
**Reactor heterogéneo:** 70, 71.  
homogéneo: 70, 71.  
neutrones lentos: 70.  
neutrones rápidos: 71.  
nuclear: 69.  
**Reglamento Policía Minera y Metalúrgica:** 73.  
**Relación entre las constantes radiactivas:** 18.  
masas protón electrón: 281.  
pesos atómicos F/Q: 281.  
**Relaciones Pb/U y Pb/Th y Th/U en la corteza:** 195.  
**Renardita:** 115.  
**Renio (años de formación del):** 183.  
187 (familia del): 100, 101.  
**Reservas planetarias de los elementos radiactivos:** 193, 215.  
**Rhinkolita:** 115.  
**Richetita:** 115.  
**Riesgos radiactivos y protección:** 72.  
**Rinquita:** 115.  
**Risorita:** 115.  
**Roentgenio:** 26.  
equiv. biológico: 27.  
equiv. físico: 27.  
hora a un metro: 27.  
**Rogersita:** 115.  
**Rowlandita:** 115.  
**Rubidio (años de formación del):** 183.  
87 (familia del): 100, 101.  
**Rutherfordina:** 115.  
**Rutherfordio:** 26, 282.  
**Rutherfordita:** 115.
- Saelita:** 115.  
**Samario 147 (familia del):** 100, 101.  
**Samarquita:** 115, 120, 124.  
**Samuresita:** 115.  
**Schoepita:** 116, 121.  
**Schroedingerita:** 116.  
**Sección de captura:** 68.  
neutrónica: 89.  
**Serie radiactivas (cabezas aparentes):** 100.  
**Sengierita:** 116.  
**Serie del C<sup>14</sup>:** 99, 101.  
In<sup>116</sup>: 98, 100, 101.  
K<sup>40</sup>: 100, 101.  
La<sup>138</sup>: 100, 101.  
Lu<sup>176</sup>: 100, 101.  
Rb<sup>87</sup>: 100, 101.  
Re<sup>187</sup>: 100, 101.  
Sm<sup>147</sup>: 100, 101.  
Sn: 98.  
radiactiva 4 n: 91, 92, 100, 102, 107.  
4 n + 1: 91, 92, 100, 103, 106, 107, 139.  
4 n + 2: 91, 92, 99, 104, 107.  
4 n + 3: 91, 92, 100, 105, 106, 107.
- Sharpita:** 116.  
**Sipilita:** 116.  
**Skłodowskita:** 116.  
**Soddita:** 116.  
**Sólidos (medición radiactiva de):** 29.

- Stasita: 116.  
 Stenstrupina: 116.  
 Studtita: 116.  
 Swartzita: 116.
- Tabla de pléyades radiactivas:**  
 247.
- Tachiafaltita: 116.  
 Talenita: 116.  
 Tamaño crítico del reactor: 71.  
 minerales: 162.  
 Tanteuxenita: 116.  
 Tengerita: 116.  
 Testificación gamma: 129.  
 neutrónica: 135.  
 radiactiva: 127, 129.
- Tiempo transcurrido entre formación plomos natural y aborigen: 175.  
 uranio y corteza terrestre: 200, 202.
- Tirita: 116.  
 Tiuyamunita: 116.  
 Toddita: 116  
 Tolerancia (dosis de): 75  
 (niveles de): 73, 74.  
 Torbérnita: 116, 120, 121, 122, 124.  
 Torianita: 116, 122, 123.  
 Torio (contenidos en): 130, 131.  
 (distribución en corteza y mantos terrestres): 202.  
 (familia del): 91, 92, 100, 107, 107.  
 (variación con el tiempo): 205.
- Torita: 116, 122, 123.  
 Torogummita: 116.  
 Torotungstita: 116.  
 Transformación de la energía en masa: 80.  
 masa en energía: 79.  
 Transición isomérica: 57.  
 Transuránidos (obtención de los): 8.  
 naturales: 81, 85, 100, 106, 139, 233, 234.  
 Tritio: 14, 15.  
 Tritomita: 117.  
 Tritón: 14.  
 Trogerita: 117.  
 Tscheffkinita: 117.  
 Tubos (saturación de): 49  
 contador Geiger Muller: 48.  
 Tucolita: 117.  
 Turanita: 117.  
 Turnerita: 117.
- Ubrichita:** 117.  
 Unidad de la materia: 77, 78, 79.  
 n: 27.  
 Uraconita: 117.  
 Urania: 28.  
 Uraninita: 117, 119, 121.  
 Uranio (año de formación del): 184.  
 (determinación período): 63.  
 (distribución en la corteza y manto terrestre): 202.  
 (familia del): 91, 92, 99, 104, 107.  
 (variación con el tiempo): 205.
- Uranita: 117, 121.  
 Uranochalcita: 117.  
 Uranocher: 117.  
 Uranocircita: 117.  
 Uranocre: 117.  
 Uranofano: 117.  
 Uranofillita: 117.  
 Uranolepidita: 117.  
 Uranoniobita: 117.  
 Uranopilita: 117.  
 Uranopissita: 117.  
 Uranosfaerita: 117.  
 Uranospatita: 117.  
 Uranospinita: 117.  
 Uranotalita: 117.  
 Uranotantalita: 117.  
 Uranotorianita: 117.  
 Uranotorita: 118, 123.  
 Uranotel: 118.  
 Urdita: 118.  
 Uvanita: 118.
- Valoraciones isotópicas:** 169.  
 (interpretación): 168.  
 de los plomos comunes: 168.  
 Vandembrandeita: 118.  
 Vanoxita: 118.  
 Variación composición isotópica de los plomos comunes: 170.  
 con el tiempo de los elementos radiactivos: 215.  
 del U, Th y Pb: 205.  
 Varitrones: 13.  
 Velocidad de un ev: 281.  
 de la luz: 281.  
 Vida media de los átomos: 19.  
 Vietingotita: 118.  
 Voglianita: 118.  
 Voglita: 118.  
 Voltio hora litro: 28.  
 Volvortita: 118.

- Vudiavrita: 118.  
 (fotones): 58.  
 Xenotima: 118.
- Walpurgita:** 118.  
**Wiikita:** 118.
- X (emisión):** 57.
- Yamaguchilita:** 118.  
**Yamagutilita:** 118.  
**Yukones:** 13.



## ERRATAS OBSERVADAS

<i>Pág.</i>	<i>Línea</i>	<i>Dice</i>	<i>Debe decir</i>
7	16	Ransay	Ramsay
9	cuadro	positrón	positón
9	cuadro	$9.18 \times 10^{-28}$	$9.11 \times 10^{-28}$
15	30	isómeros	isóbaros
24	20	S. Joachimstahl	St. Joachimsthal
25	4	encontrarme	encontrarse
33	10	terpenilos	terfenilos
33	11	terpenilo	terfenilo
33	14	penilo en polistileno	fenilo en poliestileno
49	figura	valleja	voltaje
52	1	amplificador	amplificación
53	varios	positrón	positón
53	40	tulo II	tulo X
56	23	(171)	(170 <sup>o</sup> )
57	18	positrón	positón
58	13	positrón	positón
60	29	megaelectro-	megaelectrón-
65	39	Niers	Nier
66	45	Niers	Nier
67	41	Chalmer	Chalmers
72	1	I-12	I-11
100	4		(añadir) $C^{14} \rightarrow N^{14} + \beta$
100	15	cinco	siete
100	16 y 17	tres curios el 242 tiene 150 días.	nueve curios el 243 tiene 100 años.
100	30	Pu <sup>241</sup>	Pu <sup>241</sup>
105	cuadro	AcC <sub>207</sub>	AcC <sup>207</sup>
106	25	Scabor	Seaborg
110	16		(suprimir) renglón de Cleveita
111	14	Edeiolita	Edeolita
111	15	Epiantinita	Epiantinita
115	6	Pirrhita	Pirrhita
115	23	Rhinkolita	Rincolita
120	13 y 14	concoidal por ser asociadas las	concoidal. Son asociadas a las
133	17	CO <sup>60</sup>	Co <sup>60</sup>
134	27	CO <sup>60</sup>	Co <sup>60</sup>
160	2	$1.07 \times 10^{-2}$	$1.02 \times 10^{-2}$
171	cuadro	Nasasu	Nassau

<i>Pág.</i>	<i>Línea</i>	<i>Dice</i>	<i>Debe decir</i>
171	cuadro	Missouri	Missouri
171	cuadro	Tucsson	Tucson
171	cuadro	Durange	Durango
183	25	Clark	Clarke
187	cuadro	m. s.	m. a.
189	16	edad mineral	edad de un mineral
190	11	Sawn	Sawyer
202	10	la deducida en el sub- capítulo VII-2	las deducidas en la pág. 198
204	17	D	C
222	cuadro	10 <sup>13</sup>	10 <sup>-13</sup>
225	7	12 × 10 <sup>25</sup>	15 × 10 <sup>25</sup>
227	18	Noetzli	Noetzlin
230	20	que el activo	el activo que
233	29	171.000.000	1.710.000.000
241	13	Chernaya	Chornaya
243	10	La Place	Laplace
245	5	5.000 a	6.000 a
245	8	50.000 a	60.000 a
254	U <sup>237</sup>	Natural	pasarlo al renglón inme- diato inferior.
254	U <sup>238</sup>	3 %	pasarlo al renglón inme- diato inferior.
254	U <sup>239</sup>	0.06	2.06
254	U <sup>239</sup>	97 %	pasarlo al renglón inme- diato inferior.
254	Np <sup>237</sup>		el período es 4.4 d
254	Pu <sup>239</sup>		el período es 24.1 × 10 <sup>3</sup> a
255	Cm <sup>248</sup>	15 %	pasarlo al renglón inme- diato inferior.
255	Cm <sup>248</sup>	85 %	pasarlo al renglón inme- diato inferior.
257	13	Forces	Forces
258	20	Alpher, R. H.	Alpher, R. A.
262	4	Gerling, F. K.	Gerling, E. K.
264	24	Bell, P. B.	Bell, P. R.

## ÍNDICE GENERAL

	<i>Páginas</i>
INTRODUCCIÓN .....	3
I.—GENERALIDADES .....	7
I-1.—Descubrimiento .....	7
I-2.—Partículas y clases de radiaciones .....	9
Partículas fundamentales .....	9
Radiaciones nucleares .....	10
1.—Rayos alfa .....	10
2.—Negatones .....	10
3.—Positones .....	11
4.—Rayos gamma .....	11
5.—Neutrinos .....	11
6.—Neutrones .....	12
7.—Mesones .....	12
Otras radiaciones .....	13
1.—Electrones de conversión .....	13
2.—Rayos X .....	13
Otras partículas .....	13
1.—Protones .....	13
2.—Deutones .....	14
3.—Tritones .....	14
I-3.—Los núcleos atómicos .....	14
I-4.—Leyes matemáticas .....	15
Ley general de desintegración .....	15
Relación entre las constantes radiactivas .....	18
Fórmulas para cadenas de emisiones .....	19
I-5.—Patrones y unidades radiactivas .....	24
Patrones de radio .....	24
Otros patrones .....	25
Gramo de radio .....	25

Curio .....	25
Rutherfordio .....	26
Roentgenio .....	26
Roentgenio por hora a un metro .....	27
Roentgenio equivalente físico .....	27
Roentgenio equivalente biológico .....	27
Unidad n .....	27
Miligramo-segundo de radio .....	27
Mache .....	28
Eman .....	28
Voltio hora litro .....	28
Urania .....	28
I-6.—Medición de las radiaciones .....	28
Estado físico .....	29
1.—Sólidos .....	29
2.—Líquidos .....	29
3.—Gases .....	29
Acciones .....	30
1.—Acción fotográfica .....	30
2.—Fluorescente .....	30
3.—Impelente .....	33
4.—Condensante .....	33
5.—Calorífica .....	34
6.—Ionizante .....	35
Radiación utilizada .....	35
1.—Partículas alfa .....	35
2.—Partículas beta .....	37
3.—Radiación gamma .....	37
Aparatos fundados en la ionización .....	38
1.—Cámaras de ionización .....	38
2.—Electroscopios .....	39
3.—Electrómetros .....	41
4.—Computadores .....	47
I-7.—Clases de emisión y cálculo de energías .....	52
Emisión beta .....	53
Emisión alfa .....	54
Emisión n .....	56
Escisión espontánea .....	56
Emisiones de protones y deutones .....	56
Captura de electrón orbital .....	57
Transición isomérica .....	57
Conversión interna .....	57
Fotones X .....	58
Fotones gamma .....	58
Esquemas de desintegración .....	59
Cálculo de energía .....	60

I-8.—Determinación de las constantes radiactivas .....	61
Periodos muy cortos .....	62
Periodos cortos .....	63
Periodos largos y muy largos .....	63
Determinación del periodo en los uranios naturales .....	63
I-9.—Obtención de isótopos radiactivos .....	67
I-10.—Reactores nucleares .....	69
I-11.—Riesgos radiactivos y protección .....	72
Lesiones .....	73
Niveles de tolerancia .....	74
Protección .....	75
II.—LOS ELEMENTOS RADIATIVOS Y LOS RADIOGÉNICOS .....	77
II-1.—La materia primigenia .....	77
II-2.—Proceso de formación de los elementos .....	79
II-3.—Denominación de los elementos y composición isotópica .....	90
Denominación de los elementos .....	90
Composición isotópica de los elementos .....	95
II-4.—Las familias radiactivas naturales .....	99
II-5.—Minerales radiactivos .....	108
Relación de los minerales de uranio y torio .....	108
Minerales de uranio .....	118
Minerales de torio .....	122
II-6.—Detección y prospección de los minerales radiactivos .....	124
II-7.—Los elementos radiactivos como indicadores .....	132
III.—LOS MÉTODOS RADIATIVOS DE MEDICIÓN DE EDADES .....	137
III-1.—Método de las aureolas pleocroicas .....	137
III-2.—Método del helio .....	140
III-3.—Método general .....	142
III-4.—Método de los plomos .....	145
III-5.—Otras técnicas .....	149
IV.—CORRECCIONES E INTERPRETACIÓN DE LAS MEDIDAS DE EDADES .....	151
IV-1.—Correcciones para los métodos generales .....	151
IV-2.—Corrección para las familias largas .....	152
IV-3.—La pérdida de emanación, el espesor de las formaciones y el tamaño de los minerales .....	162
IV-4.—Interpretaciones de algunas valoraciones isotópicas .....	168
V.—LAS VALORACIONES ISOTÓPICAS DE LOS PLOMOS COMUNES .....	169
V-1.—Valoraciones isotópicas .....	169
V-2.—Variaciones en la composición isotópica de los plomos comunes .....	170

V-3.—Composición isotópica de los plomos aborígen y actual y diferencia en tiempo de su formación .....	175
VI.—LIMITACIÓN A LOS MOMENTOS DE FORMACIÓN DE LOS NÚCLEOS DE LOS ELEMENTOS .....	181
VI-1. Fijación del mínimo del límite de los elementos ..	181
VI-2.—Fijación del máximo del límite más cercano .....	186
VI-3.—Limitación geofísica de las probabilidades de transformación .....	188
VII.—RESERVAS PLANETARIAS DE LOS ELEMENTOS RADIATIVOS .....	193
VII-1.—Cantidad de U, AcU y Th en el momento actual y al formarse la corteza .....	193
VII-2.—Necesidad de diferentes valores para la relación Pb/U de la corteza y del manto del planeta .....	196
VII-3.—Distribución del uranio, torio y plomo en la corteza y el manto terrestre .....	202
VII-4.—Variación con el tiempo del U, Th y Pb .....	205
VII-5.—Las relaciones Pb/U y Pb/Th .....	219
VII-6.—Las reservas planetarias de los elementos radiactivos y su variación con el tiempo .....	215
VIII.—EL CALOR DE ORIGEN RADIATIVO .....	210
VIII-1.—Grado geotérmico .....	219
VIII-2.—Balance energético terrestre .....	222
1.—Consumo de energía .....	223
a) Radiación terrestre .....	223
b) Fenómenos orogénicos .....	224
c) Fenómenos volcánicos .....	225
2.—Manifestaciones energéticas .....	227
A) Flujo de calor interno del Globo ..	228
B) Calor producido por la desintegración de los átomos radiactivos ..	228
VIII-3.—El calor de origen radiactivo .....	230
IX.—EDAD POR MÉTODOS RADIATIVOS .....	235
IX-1.—Edades uranológicas .....	235
IX-2.—Edades geológicas .....	240
IX-3.—Columna geológica .....	243
IX-4.—Edades arqueológicas .....	244
X.—TABLA DE PLÉYADES RADIATIVAS .....	247
XI.—BIBLIOGRAFÍA .....	257

Notación .....	277
Constantes .....	281
Índice onomástico .....	288
Índice de materias .....	287
Erratas observadas .....	297

**ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y TECTÓNICO DE UNA PARTE DEL VALLE DEL SEGRE, EN LA PROVINCIA DE LÉRIDA (LA ZONA DE COLL DE NARGÓ)**

POR

JOSÉ MARÍA RÍOS  
INGENIERO DE MINAS

## ÍNDICE

	<u>Páginas</u>
Introducción . . . . .	5
<i>I. Serie estratigráfica de las sierras de Aubens y del Turp.</i> . . . . .	11
A. Garumnense . . . . .	11
1. Mancha garumnense del valle de Sellent . . . . .	12
a) Tramo inferior calizo-margoso con lig- nitos . . . . .	12
b) Tramo intermedio de margas varicolores . . . . .	16
c) Tramo superior de margas y conglome- rados. . . . .	18
2. Otras manchas garumnenses. . . . .	23
3. Resumen del garumnense. . . . .	25
B. Maestrichtense. . . . .	27
1. Maestrichtense del Turp y Aubens. . . . .	27
a) Maestrichtense superior. . . . .	27
b) Maestrichtense inferior. . . . .	30
2. Otras manchas maestrichtenses . . . . .	33
C. Campaniense . . . . .	36
D. Santoniense-Turonense. . . . .	38
E. Aptense . . . . .	44
F. Liásico . . . . .	47
G. Triásico. . . . .	53
Espesores de estas formaciones. . . . .	54
<i>II. Serie estratigráfica de las sierras de Prada y San Juan</i> . . . . .	55
Serie de la ermita de Santa Fe . . . . .	56
A. Keuper . . . . .	63
B. Liásico . . . . .	63
C. Aptense (Urgo-aptense) . . . . .	64
D. Senonense. . . . .	68
E. Garumnense . . . . .	68
Espesores de estas formaciones. . . . .	69

	<u>Páginas</u>
III. <i>Otras unidades tectónicas y sus series estratigráficas</i> .....	71
A. Unidad de Casa Jou.....	73
B. Unidad de la Sierra de Peramola .....	74
C. Unidad del anticlinal de Oliana. ....	75
IV. <i>Comparación de las diversas unidades estratigráficas</i> .....	77
V. <i>Disposición tectónica</i> .....	81
1. Zona al norte de Orgañá y sinclinal de la serie de Santa Fe.....	81
2. Anticlinal de Boixols-Montanisell. ....	82
3. Sinclinal de Sellent (o Sept-Comelles) y anticlinal de Aubens-Turp .....	84
4. Fracturas transversales en los anticlinales.....	86
5. Escamas de Casa Jou y de la Sierra de Peramola.	87
6. Anticlinal de Oliana .....	88
7. Resumen .....	88
VI. <i>Historia geológica</i> .....	91
1. Triásico.....	91
2. Liásico y cretáceo inferior.....	91
3. Cretáceo superior .....	92
4. Eoceno .....	93
5. Oligoceno. ....	93
Bibliografía.....	97

## INTRODUCCIÓN

Quando se asciende por el valle del Segre, partiendo de las llanadas oligocenas, el terreno se vuelve poco a poco más quebrado. Son primero empinadas laderas, entalladas por infinidad de torrenteras y barrancos y cubiertas por jóvenes y apretados pinares, las que guían al río, que corre precipitado y rumoroso hacia la mayor libertad y sosiego que le ofrece la llanura. Por la abertura del valle hacia el Norte, tenemos atisbos de altas y cortadas montañas, de más pétreo aspecto que las laderas, aun terrosas, del oligoceno.

Pero más adelante el valle ensancha, las alturas oligocenas abren a derecha e izquierda, alejándose, y la llanada de Oliana se extiende ante nosotros (figs. 26 y 30). Como un majestuoso telón de fondo se alzan las moles pétreas de las sierras de Aubens y Turp (fig. 28), coronadas por el pico de Coscollet, con su crestería recortada, con su arbolado cimero, tan diminuto, al parecer, en su grandiosa altura, con la variedad de color en sus diferentes laderas.

Como avanzadilla de este poderoso y amurallado recinto, que parece dispuesto a cerrarnos decididamente el paso hacia el Norte, se alza primero un crestón de congló-

merados. El río ha desgastado, incansable, un estrecho y sinuoso paso a través de esta barrera que, traspuesta, nos coloca casi al pie de las arriscadas cumbres de Aubens.

Las peñas se descuelgan entonces verticales sobre el abismo, no sin recortarse antes en sombrías y oscuras quebradas y en salientes relieves que avanzan, como proas, al sol de las alturas; al pie de los cingles o cantiles, unas laderas vertiginosas, cubiertas de bloques, pedrizas y malezas van marcando su curso al río (fig. 18). Por breve espacio, ya que tajando la montaña aquél se adentra pronto, a través de la sierra, en tan estrecho cauce que las mismas cumbres reflejarían en sus aguas si éstas, protestando por tan áspera oposición a su alocado descenso a la llanura, no se cubriesen de hirviente espuma, amenazando, ensordecedoras, con el entrechocar de remolinos y guijarros.

Las cumbres, tan altivas antes, humillan poco a poco sus espaldas hasta que hollamos sus mantos. Un breve respiro a la opresión de la montaña nos ofrece entonces la breve vega de Coll de Nargó, ya que las cordilleras, alineadas transversalmente al río, abren de nuevo a más amplios horizontes, limitados ahora en todas direcciones por poderosos grupos montañosos. Pero apenas rebasada la pequeña población, otra vez las montañas ahogan el curso del río, y se eleva a la izquierda, en formas armoniosas y regulares, la terminación de la Sierra de San Juan, alzada sobre Orgañá como el espolón de un puerto.

Si seguimos avanzando por el curso del Segre hacia el Norte, después de atravesar estrechísimas y pintorescas gargantas de aspecto ya sombrío, ya alegre, pero siempre de grandiosa escala, y tras diversas alternativas, con ensanchamientos donde el paisaje abre en más dilatadas perspectivas, nos encontramos pronto en la llanada de Seo,

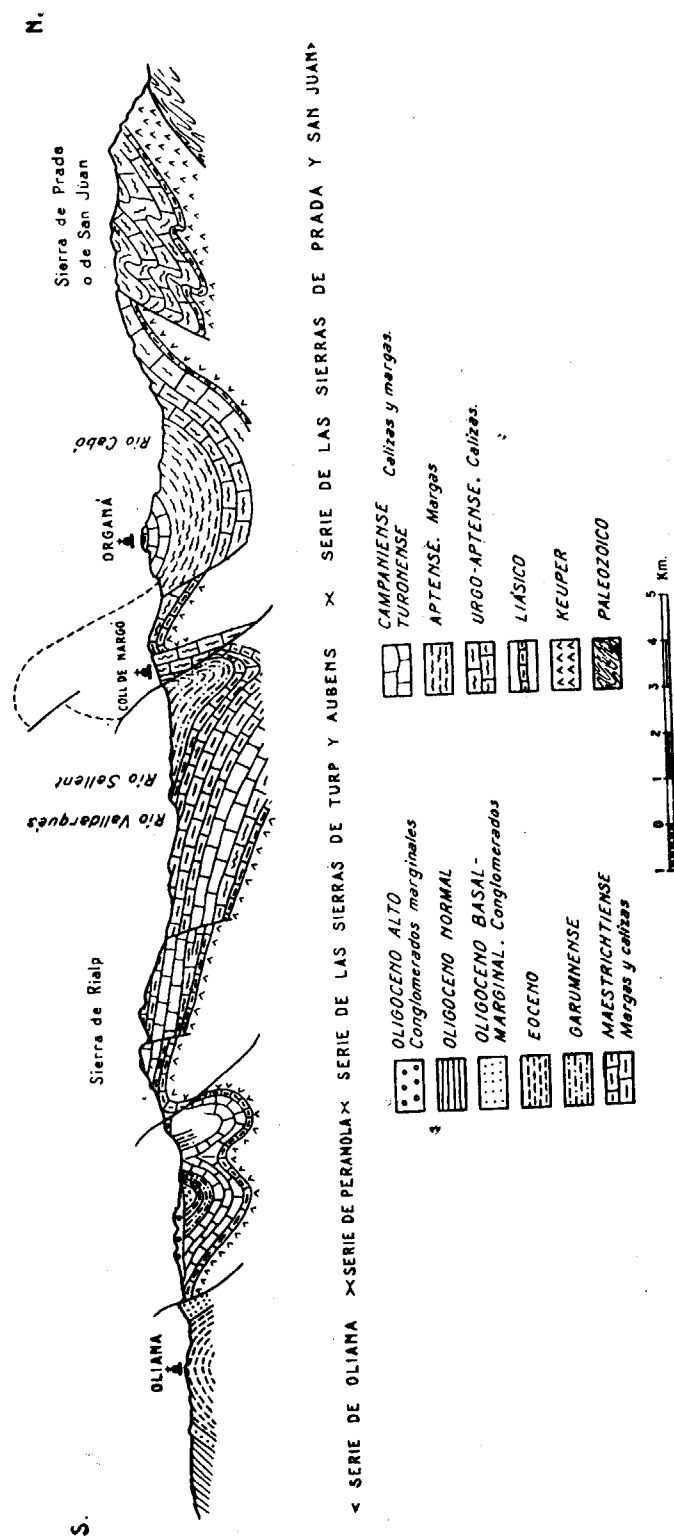


Fig. 1.— Valle del Segre entre Oliana y Orgañá.



al pie mismo de la cadena central pirenaica, de nevadas cimas.

\* \* \*

Es objeto principal de este trabajo la descripción geológica de la zona atravesada por el Segre, al norte del poblado de Oliana y sur de Orgañá, en cuyo centro queda Coll de Nargó.

Cuando, rebasados los conglomerados oligocenos que cierran, como cortina entreabierto al Norte, el valle de Oliana (fig. 28), nos encontramos al pie de las sierras de Aubens y Turp (fig. 18) y en las formaciones más bajas aflorantes de la serie secundaria que las constituyen, que son las triásicas y liásicas. La descripción detallada de la estratigrafía de esta serie constituye la primera parte de este trabajo.

Esta serie la atravesamos oblicua y más bien lentamente, pues su pendiente media no excede de los 35° N. Una vez rebasada por la parte alta de su tramo más alto, el garumnense, una falla cabalgante nos pone en contacto con la serie estratigráfica de la montaña de Nargó, compuesta igualmente por formaciones secundarias que culminan de nuevo, con el garumnense, en el fondo sinclinal de la Sierra de San Juan. El análisis detallado de esta serie, que presenta distintas características de la anterior, no obstante ser contigua, llenará la segunda parte.

Con más brevedad describiremos luego las series de la Sierra de Peramola y de la depresión de Oliana, fuera ya del término y objeto principal de este trabajo, contenido en las dos primeras partes.

Después de un análisis tectónico ilustrado por diversos cortes y esquemas, compararemos la estratigrafía de las

series descritas, sobre todo de las dos primeras, para comprobar que en realidad, y a pesar de sus diferencias, son continuas y surgidas del fondo de un mismo geosinclinal.

Finalmente, intentaremos una breve reconstitución paleogeográfica que nos mostrará que el eje geosinclinal se desplazó hacia el Sur desde los tiempos secundarios hasta su desaparición total por emersión de la serie con los plegamientos sávicos, al mismo tiempo que describiremos la secuencia de los acontecimientos geológicos.

\* \* \*

Hacemos constar, con mucho gusto, que el Dr. Julio Garrido colaboró en los trabajos de campo en algunas zonas, y por eso hemos incluido su nombre, como coautor, en el mapa.

Expresamos nuestro agradecimiento a don Antonio Almela, quien amablemente se hizo cargo del material paleontológico para su determinación, y a quien se deben las clasificaciones.

## I. SERIE ESTRATIGRÁFICA DE LAS SIERRAS DE AUBENS Y DEL TURP

Esta serie está integrada, de abajo arriba, por las siguientes formaciones, que describiremos en sentido descendente: triásico, liásico, urgo-aptense, turonense-santoniense, campaniense, maestrichtense y garumnense (figura 18). La descripción detallada es como sigue:

### A. Garumnense

Coronando el cretáceo superior tenemos el garumnense, formación continental muy típicamente representada aquí por conglomerados de gravillas, margas de colores vivos y variados, y por bancos calizos con faunas lacustres que algunas veces contienen lechos de lignitos.

En esta región el garumnense aparece, en general, sin techo geológico. Solamente en una complicada zona al pie del Coscollet está en relación más o menos confusa con unos estratos eocenos. Hecha esta excepción, únicamente el oligoceno, que es progresivamente discordante sobre las formaciones más antiguas, se presenta como unidad estratigráfica más moderna que el garumnense.

### 1. Mancha garumnense del valle del Sellent.

Una gran mancha garumnense ocupa el valle del Sellent, desde esta localidad hasta poco más allá de Coll de Nargó. Por su extensión y potencia, y por su sencilla disposición, se presta muy bien al análisis detallado de las características del tramo. Tiene disposición isoclinal, de modo que al Sur se apoya normalmente sobre el maestrichtense, y el conjunto buza con pendientes regulares y crecientes hacia el Norte, donde sus capas se estrellan bruscamente contra el aptense. El borde del garumnense, constituido en su contacto con aquella formación por su parte más alta, está levantado hasta la vertical (ver fig. 4) y las presiones ejercidas por el aptense han sido muy grandes, al oponerse la masa garumnense a su avance hacia el Sur.

Se descompone en:

- a. Tramo inferior calizo-margoso con lignitos.
- b. Tramo intermedio de margas varicolores.
- c. Tramo superior de margas y conglomerados.

La descripción estratigráfica detallada es la siguiente:

#### A. TRAMO INFERIOR CALIZO-MARGOSO CON LIGNITOS.

El muro del garumnense está constituido por unas calizas arenosas de color amarillento (calizas de Las Masías) de edad maestrichtense. El paso al garumnense es gradual, pero rápido, y en pocos metros de espesor las calizas pierden su contenido arenoso y pasan a ser margas grises más o menos calizas, a veces muy calizas, y muy perfecta y finamente estratificadas, de modo que, con frecuencia, se manifiestan en magníficos lisos. Entre estos lisos, tanto margosos como calizos y muy duros, es donde se presentan las capitas de carbón.

El color de este tramo de la base es grisáceo, pero hacia aquella parte que constituye el tránsito gradual al maestrichtense se vuelve amarillento, al cargarse de arena. Aun conserva, al principio, alguna hiladita carbonosa.

Actualmente hay dos minas en explotación, que obtienen lignitos de baja calidad de estas delgadas capas carboníferas. Se trata de las minas «Antonia» y «Codoñera», y dadas las malas condiciones de explotabilidad de aquellas, se comprende que su actividad se limite a las épocas de guerra, en que la escasez de combustibles minerales coloca los lignitos a alto precio. Ambas comenzaron a explotarse en 1914 y pararon al cesar la primera guerra mundial, reanudando sus labores al comenzar el conflicto bélico que terminó hace pocos años. La mina «Antonia», emplazada junto al río Sellent, cerca de los molinos de Las Masías, explota 25 cm. de lignito en dos capas, separadas una de otra por 50 cm. de pizarra y caliza. La mina «Codoñera», situada a medio kilómetro de aquella en dirección al caserío de Las Masías, explota 30 cm. de lignito en dos capas (20 y 10 cm., respectivamente), separadas por 20 cm. de estéril; hay otros carboneros que no exceden de la pulgada de espesor, siempre muy bien y finamente estratificados.

Se considera que las capas de «Codoñera» constituyen un paquete situado 115 metros más bajo que el paquete de «Antonia». En las capas de carbón se encuentran gasterópodos y algún lamelibranquio, todo ello de facies lacustre.

En la confluencia de los torrentes de Valldarqués y Sellent hay otros lechos carboneros que se explotaron en 1914, pero esta mina se hundió hace ya unos veinte años; posiblemente corresponden al nivel de «Codoñera».

Rebasado en sentido ascendente este nivel calizo-margoso inferior, el garumnense cambia de facies y se hace

francamente margoso, con margas vinosas y grises de colores oscuros, sueltas y disgregadas. En la parte superior, estas margas contienen aún lechos carbonosos, que se ven en el Km. 2 de la carretera que va de Coll de Nargó a Isona. Allí hemos recogido gasterópodos de agua dulce:

*Melania ilerdensis* VIDAL.

— *dives* VIDAL.

*Cerithium isonae* VIDAL.

con el característico aspecto que suelen presentar estas formas lacustres, con concha blanca, y gran cantidad de restos aplastados; pero en esta localidad se recogen, además, buenos ejemplares.

Junto al torrente de Sellent y en el camino de este pueblo, como a un kilómetro aguas arriba de la confluencia con el torrente de Valldarqués, hemos visto entre las margas grises y amarillas, más o menos blandas y sueltas, que constituyen el paso del tramo medio margoso al más calizo de la base, un lecho o hilada dura de 25 cm. de espesor, con hiladitas de carbón (al pie de la cota 691). Cerca de la confluencia del torrente de Valldarqués están los lechos carbonosos de la mina hundida a que nos hemos referido antes; los lechos carbonosos presentan la disposición que expresa la figura 2.

Así pues, las capas de carbón llegan hasta la misma base del potente complejo margoso intermedio, pero ya no se encuentran más arriba.

También hemos visto el nivel de lechos carbonosos al este del Segre, en una zona en que el garumnense está extraordinariamente comprimido y laminado. Junto al río Perles, y cerca de su confluencia con el Segre, se ven capitas de carbón con margas grises muy laminadas, en las

trincheras y excavaciones frescas de la carretera en construcción que comunicará Coll de Nargó con San Lorenzo de Morunys; están afectadas de inclinaciones cercanas a los 60°. Debido a la violentísima tectónica que estruja y lamina todo el conjunto, vienen a quedar muy cerca de los conglomerados que coronan el garumnense, y falta casi

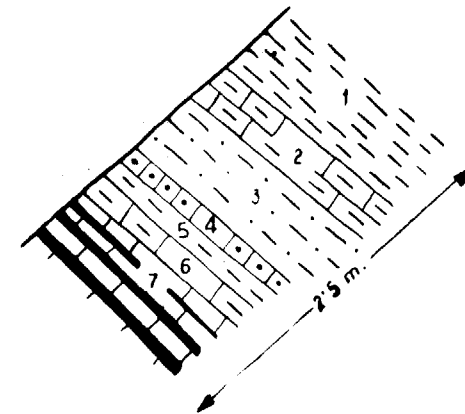


Fig. 2.

1. Margas amarillas, sueltas o compactas.
2. Calizas margosas.
3. Margas grises.
4. Calizas margosas.
5. Margas.
6. Calizas margosas.
7. Hiladas de carbón entre calizas.

por completo la potentísima serie de margas del tramo intermedio. Se vuelven a encontrar aún, como a kilómetro y medio más al Este, margas grises hojosas con carboneros y calizas fétidas, probablemente las mismas capas que acabamos de mencionar, y contienen aquí orbitolinas, probablemente la *O. conoidea discoidea* GRASS. Más adelante nos ocuparemos de este hecho curioso de la presencia de

orbitolinas en el garumnense. La disposición tectónica es allí la que representa el esquema de la figura 3.

Debido a las laminaciones que ha experimentado el tramo de margas vinosas (4), cuya potencia es de varios

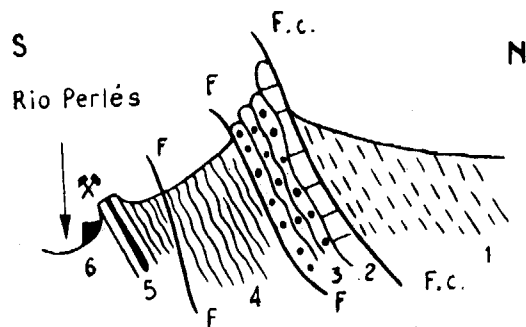


Fig. 3.

- |                  |    |  |
|------------------|----|--|
|                  | 1. | Margas aptenses.   |
|                  | 2. | Calizas grises.  |
| Garumnense ...   | 3. | Conglomerados rojos extraordinariamente comprimidos y laminados. |
|                  | 4. | Margas vinosas muy trituradas.                                   |
|                  | 5. | Margas grises, hojosas, con lignitos y alguna orbitolina.        |
| Maestrichtense . | 6. | Margas y areniscas.  |
|                  | F. | Falla. — F. c. Falla cabalgante.                                 |

cientos de metros, aquí queda reducido a menos de 100, de modo que el tramo carbonero de la base (5) queda muy cerca de los conglomerados superiores (3).

Visto, pues, en conjunto, podemos afirmar que las capas de carbón llegan aún a la base del potente y complejo margoso inmediato, pero ya no se encuentran más arriba.

#### B. TRAMO INTERMEDIO DE MARGAS VARICOLORBS.

Este tramo, cuya potencia llega a ser de varios cientos de metros, se inicia ya por la base con unas margas o tie-

rras de colores vinosos o grisáceos oscuros que se presentan sueltas y disgregadas. Hacia la parte media del tramo van apareciendo, entre estas pizarrillas, bancos más firmes de margas rojas, jaspeadas de manchas grises verdosas, siendo los tonos feos y sucios; estos bancos van predominando sobre las margas sueltas al ir ascendiendo estratigráficamente; de materia paleontológica no hemos visto sino fucoides. Ya en la parte superior este tramo está compuesto de bancadas, más bien compactas, de margas sucias rojóagrisadas o verdosas, más o menos vinosas, y jaspeadas de manchas blancuzcas y verdosas, con alguna hiladita intercalada de calizas margoso-arenosas de color gris. Podemos considerar terminado el tramo cuando empiezan a presentarse hiladas de conglomerados. Éste es el aspecto que presenta este tramo intermedio, por ejemplo al avanzar aguas arriba por el arroyo de Montanisell.

Algo más al Este, al pie de las cotas 818, 851, 748, etc., que forman una pintoresca crestería (de conglomerados superiores) sobre la que descansa el poblado de Coll de Nargó, esta serie presenta caracteres algo distintos debido a la presencia de una serie de bancadas calizas, o calizo-margosas, compactas; estas calizas se presentan entre margas vinosas, en las que hemos recogido cantos rodados cuajados de *Orbitolina conoidea-discoidea* GRASS. El espesor de aquéllas puede llegar hasta los dos metros. Bajo uno de los bancos calizos, y entre margas vinosas, hemos recogido ejemplares, algunos muy bien conservados, del *Lychnus sanchezi* VIDAL, que no había sido citado en esta zona de Coll de Nargó. En la parte baja de la serie los bancos calizos son negros y muy fétidos. También hay nivelitos de areniscas grises duras, con fucoides, que recuerdan las facies flysch.

Pero hacia la base del tramo, desaparecen los bancos

calizos y se presentan sólo las margas sueltas, de color rojogrisáceo oscuro.

En Coll de Nargó, este tramo intermedio está comprimido y laminado, y su espesor se presenta muy reducido por estas causas tectónicas. Más al Este, al otro lado del Segre, este tramo intermedio, estrujadísimo por las enormes presiones causadas por el cabalgamiento y arrastre hacia el sur del aptense (fig. 3), aparece enormemente laminado y de su gran espesor sólo quedan retazos, de modo que casi llegan a juntarse el maestrichtense y los conglomerados garumnenses superiores, más resistentes.

Los límites superior e inferior de este tramo no aparecen marcados en el mapa.

#### c) TRAMO SUPERIOR DE MARGAS Y CONGLOMERADOS.

Hemos dado por terminado el tramo intermedio cuando empiezan a aparecer en su parte alta hiladitas de conglomerados, las cuales, alternando todavía con margas vinosas y jaspeadas de blanco y verde, constituyen la parte baja del tramo superior. Aquéllas son tanto más gruesas y frecuentes cuanto más ascendemos estratigráficamente.

Son entonces bancos de conglomerados grisrojizos, de canto semianguloso de caliza gris y otros más oscuros de calizas y margas rojas y amarillas. Su aspecto es más bien brechoide por el carácter semianguloso de los cantos. El cemento, muy compacto, es de caliza gris. Se presentan en bancadas de 1-2 m. de espesor, comprendidas entre otras de margas rojo ladrillo o vinosas.

Pasados unos 60-70 m. de esta alternancia de margas y conglomerados, encontramos unas bancadas de margas color rojo ladrillo, semicompactas, jaspeadas de blanco o grisverdoso. El jaspeado corresponde a grumos más calizos, a veces a fucoides, y pueden aquéllos reunirse consti-

tuyendo hiladitas enteras de caliza gris, hasta de una pulgada de espesor. La potencia de esta formación varía entre los 50 y los 90 metros.

Corona este conjunto de margas y conglomerados, y también toda la serie garumnense, una compactísima bancada de conglomerados cuya posición es casi siempre cercana a la vertical, o incluso volcada, pues ha experimentado el inmediato empuje del aptense cabalgante, con el que está en contacto.

Son conglomerados compactísimos y durísimos, con canto gris semianguloso, o casi anguloso, sin que falten otros elementos más redondeados, siendo en general tanto menos angulosos cuanto más grandes. Unas veces en bancos homogéneos, reunidos otras en uno solo de 15-20 m. de potencia, con cemento calizo oscuro rojizo muy escaso y compacto. Los espesores son variables y pueden llegar incluso a los 50 metros, pero entonces suelen desglosarse en dos o más bancadas con margas intermedias. Las bancadas individuales no suelen rebasar el espesor antes mencionado de los 15-20 metros.

El canto suele ser de caliza gris y, en menor cantidad, de color amarillo claro.

Son muy resistentes, debido por una parte al canto calizo y, sobre todo, al cemento, que aunque escaso, es sumamente calizo y compacto. Están por su parte alta en contacto anormal con margas aptenses, las cuales forman parte de una masa cabalgante (serie de la Sierra de San Juan) que ha avanzado de Norte a Sur hasta tropezar con la barrera de conglomerados. Éstos, ante el empuje, han llegado a adoptar una posición vertical, pero sin ceder. Presentan un frente continuo que en la topografía se manifiesta casi siempre como atrevidos y pintorescos crestosnes, que se alzan como un muro frente al aptense. Este

muro aparece quebrado, inmediatamente al oeste de Coll de Nargó, por algunas fallitas de ligero salto, marcando dos entrantes en que los conglomerados han cedido ligeramente al empuje. Los croquis de la figura 4 muestran las

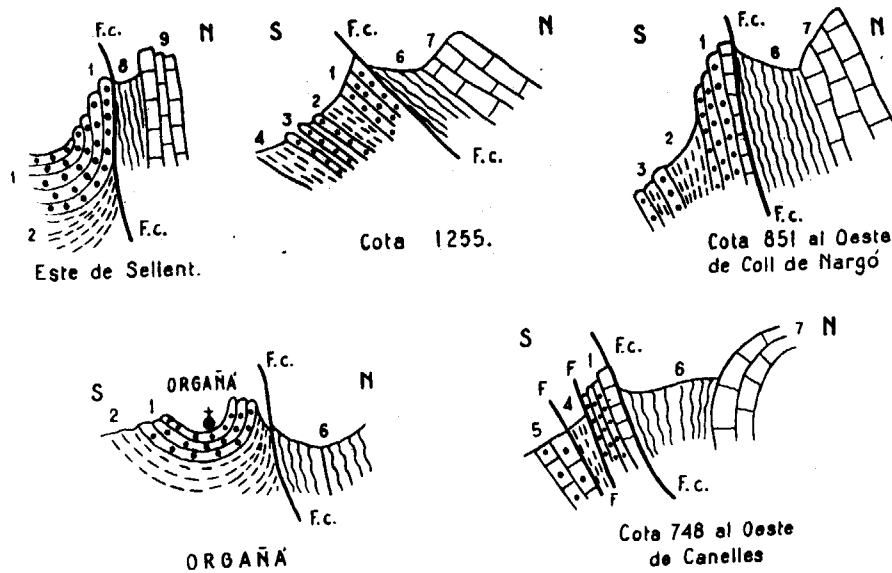


Fig. 4.

Garumnense.	Tramo superior.	1.	Conglomerados y calizas.
		2.	Margas rojo ladrillo.
Maestrichtense	Tramo medio ..	3.	Margas y conglomerados.
		4.	Margas grises y vinosas.
		5.	Maestrichtense.
Aptense		6.	Margas.
		7.	Calizas.
Liásico		8.	Margas.
		9.	Calizas.

disposiciones de estos conglomerados en distintas localidades.

Las presiones experimentadas por el garumnense son especialmente intensas al este del río Segre, donde la bancada de conglomerados aparece quebrantada por varias

fallas, entre las cuales el muro ha sido empujado hacia el Sur. El tramo margoso intermedio está muy reducido en esta zona, y las presiones han hecho desaparecer la mayor parte de su gran espesor. Lo que queda está extremadamente triturado, de modo que, en esta zona, la base del garumnense y el maestrichtense queda muy cerca de los conglomerados, y a la altura de Canelles el garumnense ha desaparecido casi del todo o por entero.

Hemos de referirnos, finalmente, a dos peculiaridades de este tramo superior del garumnense.

Una de ellas es el hecho de que el crestón superior de conglomerados va muchas veces acompañado de un banco de caliza gris compacta que suele situarse en la parte más alta del garumnense. No es absolutamente continuo, pero resulta perfectamente visible al este del barranco de Montanisell, como margas muy calizas finamente estratificadas, y allí se ven aparecer lentejones de conglomerados dentro de aquéllas. En algún sitio hemos visto hiladitas cuajadas de gravilla gruesa angulosa o redondeada, de cuarzo, entre las calizas y los conglomerados.

Más al Este, el conglomerado está casi completamente sustituido por calizas; inmediatamente al oeste de Coll de Nargó (cota 748), la cresta o muro saliente, con un relieve vertical de unos 30 metros sobre el piso, es enteramente calizo, y se trata de caliza gris, de grano fino y cristalino, cuyo color es blancoagrisado. La bancada tiene un espesor de unos 25-30 metros.

Pasa lateralmente a conglomerados bastísimos, de canto muy grande anguloso; por debajo hay espesores muy variables de conglomerados rojos.

Al este del Segre el garumnense suele estar coronado por un banco calizo apoyado sobre los conglomerados, y forma las airosas cresterías que van de Coll de Nargó a

Canelles; únicamente cuando falta el banco calizo, toman su lugar en las crestas los conglomerados rojos.

Otra particularidad interesante es la presencia de orbitolinas en los conglomerados del garumnense. Ya hemos visto que se presentan también en otras partes de esta formación. En los conglomerados es de notar que existen también en el cemento, aparte de que haya cantos de calizas aptenses cuajados de ellas. Las orbitolinas (que parecen ser la *O. conoidea-discoidea* GRASS), teñidas de color rojo, están firmemente cementadas y hubieron de ser extraídas a punta de navaja. No se trata, pues, de ejemplares arrastrados por las aguas desde el macizo aptense inmediato, sino que se sedimentaron al mismo tiempo que los depósitos garumnenses, y provenían de la descomposición del macizo secundario que suministraba, además, los elementos gruesos del conglomerado. De la significación paleogeográfica de este fenómeno nos ocuparemos más adelante. Entre otros sitios, hemos recogido las orbitolinas en el mismo pueblo de Coll de Nargó, en las trincheras de la carretera, hacia el hectómetro 200 (Km. 104,2) entre las casas.

El garumnense presenta, en general, una falsa concordancia, muy sorprendente, con las margas aptenses que lo cobijan, de modo que en muchas localidades parecería que estas margas son continuación de la serie normal cretácea. Nos costó, por consiguiente, trabajo convencernos, siguiendo este curso de ideas, de que las calizas sobre los conglomerados no representaban las de alveolinas de base del eoceno, y que las margas, que luego resultaron aptenses, no representaban el luteciense. Pero la ausencia total de nummulites nos puso en guardia. Las margas no son muy fosilíferas, pero una búsqueda detallada nos suministró la prueba incontestable de su edad aptense y, además,

podimos comprobar que casi siempre son concordantes con las calizas de esta edad. Ya en posesión de estos hechos, vimos que, sobre todo al este del Segre, la concordancia con el garumnense no era tan clara, y quedó demostrado que, en todo caso, no es sino aparente, a lo largo de una línea de falla y cabalgamiento.

## 2. Otras manchas garumnenses.

Más al Norte hemos visto, y señalado en el mapa, otra mancha garumnense que corona la famosa serie cretácea de Santa Fe de Orgañá y aparece en el fondo del leve sinclinal que constituye la Sierra de Espías, parte oriental de la famosa Sierra de San Juan, pero no la hemos pisado, por lo que no podemos dar cuenta directa de su composición.

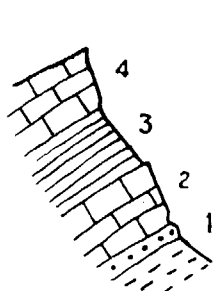
En una compleja zona inmediatamente al sur de Coscollet (escama de Casa Jou) (fig. 18), hemos señalado como garumnense, sin tener prueba paleontológica, unas formaciones cuyos caracteres litológicos coinciden en cierto modo. Pero por la complicación tectónica de esta zona, todo lo referente a ella lo trataremos aparte, por cuya razón no hacemos otra cosa que mencionar su existencia.

L. M. Vidal estudia con detalle el garumnense catalán (1) (2), que divide generalmente en tres tramos: superior, o de calizas compactas; medio, o de margas color rojo muy pronunciado, e inferior, con lignitos. Esta clasificación la debió hacer apoyándose, sobre todo, en las características que presenta la zona de Berga, y vamos a establecer ahora su relación con la nuestra.

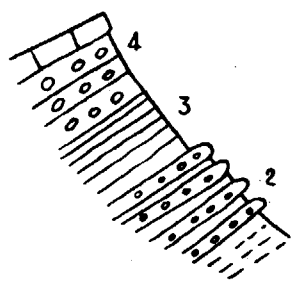
(1) L. M. Vidal: «Datos para el conocimiento del terreno garumnense en Cataluña».—Bol. Com. Mapa Geol., tomo I. 1874.

(2) L. M. Vidal: «Geología de la provincia de Lérida».—Bol. Com. Mapa Geológico, tomo II. 1875.





CORTE DEL TRAMO SUR DEL GARUMNENSE DE LA PROV. DE BARCELONA SEGUN VIDAL



CORTE DEL TRAMO SUR DEL GARUMNENSE DE COLL DE NARGO SEGUN RIOS.

Fig. 5.

- |  |  |
|--|--|
| 1. Areniscas; 10 metros.               | 2. Alternancia de margas y conglomerados; 60 metros. |
| 2. Calizas; 40 metros.                 | 3. Margas rojo ladrillo; 50 metros.                  |
| 3. Margas rojizas, yesosas; 50 metros. | 4. Conglomerados y un banco calizo; 50 metros.       |
| 4. Calizas; menos de 40 metros.        |  |

Vidal afirma que el tramo superior de calizas existe sólo en la provincia de Barcelona, pero a la vista de los croquis de la figura 5 creo que se puede aceptar que nuestro tramo superior de Coll de Nargó viene a equivaler al de Vidal en Berga. No obstante, la distancia entre ambas localidades es excesiva para que se pueda hacer demasiado hincapié en la semejanza, que quizá no es sino casual.

Los tramos medio e inferior de nuestra clasificación coinciden con los de Vidal en extensión vertical y características generales, aunque este autor afirma que el inferior es el único fosilífero, siendo así que nosotros hemos encontrado *Lychnus* en la base del superior.

En el tramo inferior señala, en la zona Coll de Nargó-Sellent, además de restos vegetales no identificables, y entre las calizas margosas que contienen los lignitos, la *Ostrea verneuilli* LEYM., *Ostrea garumnica* Coq. y *Cyrena laletana* VIDAL.

En cambio cita, en la próxima cuenca de Tremp, los siguientes fósiles, que proceden del tramo lignitífero de la base:

*Columnastraea leymeriei* VIDAL.  
*Cardium duclouxi* Coq.  
*Ostrea verneuilli* LEYM.  
 — *garumnica* Coq.

*Hippurites castroi* VIDAL.  
*Lychnus sanchezi* VIDAL.  
*Melania vaginata* VIDAL.  
 — *dives* VIDAL.  
 — *heptagona* VIDAL.  
 — *stillans* VIDAL.  
*Melanopsis crasatina* VIDAL.  
 — *serchensis* VIDAL.  
 — *vacua* VIDAL.  
*Natica placida* VIDAL.  
 — *nudis* VIDAL.  
*Nerita malladae* VIDAL.  
*Dejanira matheroni* VIDAL.  
*Trochus convallii* VIDAL.  
*Cerithium guzmani* VIDAL.  
 — *isonae* VIDAL.  
 — *armonicum* VIDAL.

Conviene, además, hacer resaltar el hecho que señaló Vidal de la presencia de capas calizas de carácter marino con *Hippurites castroi* y *Sphaerulites*, comprendiendo lechos de carbón.

Dalloni (1) también cita el *Hippurites castroi* VIDAL entre las calizas de la base del garumnense en Las Masías (zona de Coll de Nargó) con la ya citada *Cyrena laletana* VIDAL y el *Pyrazus stillans* LEYM.

### 3. Resumen del garumnense.

El resumen de las características generales del garumnense es el siguiente:

Es una formación de potencia muy considerable, que suma varios cientos de metros. Por sus rocas la dividiremos en tres tramos, de desigual importancia y potencia.

1) Un tramo de calizas y margas en la base, de escasa potencia y estratificación fina. Contiene lignito de poco valor, pero que se explota eventualmente.

2) Un tramo muy potente, de varios cientos de me-

(1) M. Dalloni: «Études géologiques des Pyrénées catalanes». Argel, 1930.

tros, esencialmente margoso, y en cuya mitad inferior las margas son sueltas y desagregadas, mientras que la superior presenta bancadas semicompactas. Tiene colores agrisados, rojizos y oscuros, de tonos más bien oscuros.

3) Un tramo superior de potencia intermedia, compuesto por unas hiladas de conglomerados comprendidos entre margas rojas; unas bancadas de margas color ladrillo y unos bancos de conglomerados compactísimos, que suelen ir cubiertos por un tramito calizo y que constituyen la coronación de la serie.

Se apoya sobre el maestrichtense con un paso gradual pero rápido, y está cubierto, o mejor dicho cabalgado, por margas de edad aptense, con las que suele presentar una falsa concordancia.

Al oeste del Segre se presenta en serie normal bastante uniforme, excepto cerca de la cabalgadura aptense,

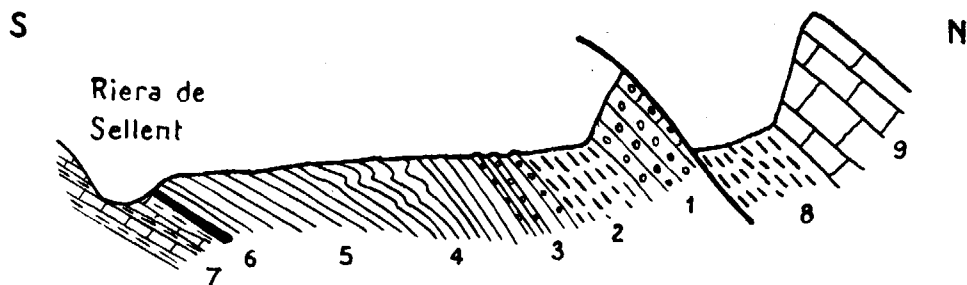


Fig. 6.

Garumnense ...	} Tramo superior.	1. Conglomerados con o sin banco calizo.
		2. Margas color rojo ladrillo.
		3. Margas y conglomerados.
} Tramo medio ..	4. Margas sueltas y compactas.	
	5. Margas sueltas.	
} Tramo inferior.	6. Calizas y calizas margosas con lignitos.	
	7. Maestrichtense.	
Maestrichtense .....		8. Margas.
Aptense .....		9. Calizas.

donde se inclinan a veces hasta la posición vertical. Al este del mencionado río, los trastornos son muy violentos, la posición es cercana a la vertical y el espesor queda tectónicamente muy reducido por supresión de la mayor parte del tramo medio, que al este de Canelles desaparece casi del todo o por completo.

Su edad está determinada paleontológicamente, entre otros fósiles, por el *Lychnus sanchezi* VIDAL, que se señala aquí por primera vez. Como curiosidad podemos citar la presencia de orbitolinas aptenses en yacimiento secundario, recogidas en el pueblo de Coll de Nargó y vistas en otras varias localidades.

El croquis de la figura 6 da un corte típico del garumnense (a lo largo del barranco de Montanisell).

### B. Maestrichtense

El maestrichtense consta de dos tramos de muy distintas características. El superior es muy arenoso y relativamente de poco espesor. El inferior, esencialmente margoso, es muy potente.

#### 1. Maestrichtense del Turp y Aubens.

a) MAESTRICHTENSE SUPERIOR. — Constituye un tramo de muy marcada personalidad litológica en esta región. Se presenta como calizas arenosas de color amarillento, que por su carácter de formación compacta, situada entre otras dos margosas y más blandas, como son el garumnense y el maestrichtense inferior, destaca en la topografía generalmente como crestas o cejos. Así, la Trancada de Sellent, larga corrida de alturas que desde el NO. de Vallarqués llega hasta Las Masías, está coronada por estas

calizas maestrictenses, que forman un ligero cejo. El torrente de Valldarqués las corta en un tajo, donde la observación de sus características es fácil. Se trata de calizas arenosas, grises y compactas, que allí contienen *Balanocrinus* sp. y algún otro resto fósil inclasificable. En la

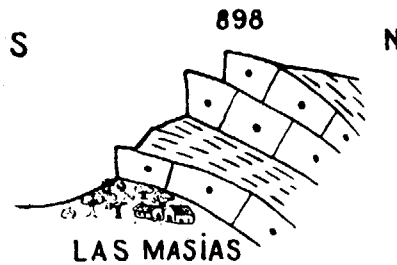


Fig. 7.

cota 898, que se alza junto al torrente, se puede observar (fig. 7) que son varios los bancos de areniscas y que existen, además, otros lechos más blandos intercalados. El conjunto suma unos 120 metros de espesor, contados hasta llegar a las margas grises que tiene debajo.

Más al Este están las alturas de los Tosalts, constituidas también por el maestrictense superior y que nos muestran unas características interesantes de esta formación. Allí vemos que son, en efecto, varios los bancos de calizas amarillas que se superponen con o sin intercalación de capas más blancas, pero observamos también que estos bancos (fig. 8) van pasando a margas grises hacia el Este, empezando la transformación antes por los inferiores.

Es decir, que hacia el Oeste el conjunto de las capas que presentan aspecto maestrictense superior es más potente, mientras que hacia el Este, los bancos inferiores que allí eran calizos se van volviendo margosos y el con-

junto, cuyo aspecto es arenoso, es mucho menos potente.

Las calizas maestrictenses son más o menos irregulares, y algunos lechos son tan arenosos que constituyen ya verdaderas areniscas color amarillo ladrillo, y no muy duras.

Como consecuencia de este cambio lateral de facies, el espesor aparente del maestrictense arenoso al Este del

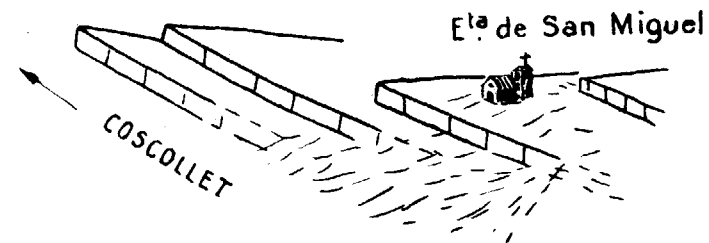


Fig. 8.

Segre es mucho más reducido, por estar en parte representado por las margas grises del tramo inferior.

En la vega del Segre se pierden las capas del maestrictense arenoso por debajo del cuaternario, pero reaparecen en la trastornadísima zona al este del río, donde aun se reconocen de nuevo sus capas bastante bien, por su estructura litológica, así como por su posición bajo el garumnenense con lignitos.

Este tramo maestrictense superior ha sido reconocido y separado por casi todos los geólogos que han trabajado en esta zona. Vidal lo señala como el tramo de arenisca parda correspondiente a la de Alet; en Francia. Ahora bien, Dalloni incluye, como nosotros, también en el maestrictense, el sistema margoso-calizo gris, con *Ostrea larva* y *O. vesicularis*, que se presenta bajo las areniscas.

B) MAESTRICHTENSE INFERIOR.—Hay que incluir en el maestrichtense una potente serie de margas que se desarrolla bajo estos bancos más o menos arenosos y a los que pasa, en ocasiones, lateralmente. En el texto las denominamos con frecuencia margas senonenses, para restringir, en

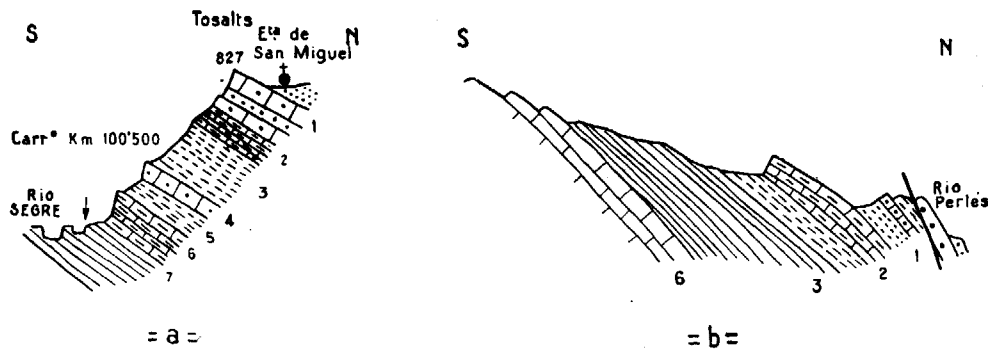


Fig. 9 a.—Bajo las calizas arenosas de Tosalts (1), que constituyen el tramo más alto del maestrichtense, vienen unas calizas y calizas margosas grises (2) en capas finas y regulares, que hacia la parte inferior pasan a margas grises amarillentas, en capas finas, compactas y muy bien estratificadas (3), con *Rhynchonella eudesi* Coq., *Hemias-ter nucleus* (?) DESOR, *Terebratulina echinulata* D'ORB. e *Inoceramus* sp.

4. Banco calizo arenoso con *Rhynchonella eudesi* Coq.
5. Margas grises, azules y oscuras, bien y finamente estratificadas, blandas y sueltas.
6. Margas muy calizas y duras, fina y regularmente estratificadas.
7. Capas margosas blandas de Dolent d'en Coll (Roca Coll). Debajo calizas campanienses.

Fig. 9 b.—Tras el garumnense, completamente laminado y estrujado, vienen las calizas arenosas (1) del maestrichtense superior. Bajo ellas unas margas grises en varios bancos finos y bien estratificados con alguna *Exogyra pirenaica* LEYM. Debajo aparecen unas largas corridas de margas calizas duras (2) en bancos finos y bien estratificados con *Rhynchonella diformis* D'ORB. y *Micraster burgiensis* (?) LAMB. y fragmentos de *Inoceramus*, así como de grandes ostreas negras. Después un nivelito de margas azules, blandas, pizarreñas-hojosas, sueltas y desagregadas, y luego (3, 4 y 5) margas duras en capas en rosario y magnífica regularidad, fina y regularmente estratificadas con *Terebratulina* n. sp. y, finalmente, calizas y margas calizas (6) en bancos duros, aunque finamente estratificados, con *Pecten catalaunicus* VIDAL y grandes *Exogyra*, de edad campaniense.

cierta manera, la designación maestrichtense a los tramos altos areniscosos.

La fig. 9 a representa el corte de esta serie, trazado desde Tosalts (cota 827) al río Segre. La fig. 9 b un corte análogo, trazado al este del Segre, desde el torrente de Perlés hacia la Sierra del Turp.

Como comentario a estos cortes hay que decir que el equínido designado como *Hemias-ter nucleus* DESOR, no nos ha sido posible clasificarlo con seguridad absoluta por su mal estado de conservación. Se le atribuye, por otra parte, edad santoniense, mientras que nuestro ejemplar está recogido en calizas más altas. Lo mismo hemos de decir del *Micraster burgiensis* ? LAMB., al que se le atribuye edad coniacense.

Este conjunto de capas, cuyos cortes acabamos de analizar, está puesto magníficamente de manifiesto en el barranco del Valldarqués, al pie de las areniscas maestrichtenses de la Trancada de Sellent. Allí hay una potentísima serie de margas calizas grises y azules en bancos finos y regularmente estratificados con concreciones y riñones duros, en rosario, de muy típico aspecto en Valldarqués; hemos visto las mismas *Rhynchonella eudesi* Coq. y ostreas de gran tamaño, entre ellas la *Pychnodonta vesicularis* LAM., en ambas laderas del barranco. En un yacimiento abundantísimo recogimos gran cantidad de *Terebratella divaricata* LEYM.

Este mismo conjunto margoso se encuentra también, en forma muy característica, en las trincheras de la carretera de Oliana a Coll de Nargó, en las cercanías del puente sobre el barranco de Sellent.

Nos parece que debe ser el que describe Vidal, diciendo que bajo la arenisca parda, como la de Alet, vienen calizas margosas grises, primero arrañonadas, luego pizarrosas con *Janira quadricostata* GEN.,

*J. striato-costata* GOLD., *Ostrea vesicularis* LAM. (variedad gruesa) y *Rhynchonella* sp., de gruesas costillas, y que más abajo contienen *Terebratella divaricata* LEYM.

Dalloni, tomando en parte datos de Vidal, añade a las listas de fósiles mencionados la *Exogyra spinosa* MATH., *Alectronia larva* LAMK., *Inoceramus* sp., *Hippurites radiosus* DESMOUL., *Spatangoides* sp., *Orbitoides socialis* LEYM., *Archaeolithothamnium batalleri* LEM. y *Lithophyllum striatum* LEM., y en las capas más altas, calizo-margosas grises, equivalentes a la arenisca de Alet, la *Ostrea larva* y *O. vesicularis* citadas por Leymerie.

Bajo este conjunto margoso y calizo-margoso aparece un segundo banco calizo-arenoso que recuerda, por su aspecto, el maestrichtense superior. Está puesto de manifiesto con gran claridad en el barranco de Valldarqués, donde forma un suave anticlinal tajado por el río. Se oculta precisamente, por debajo del tramo margoso, a la altura del molino de Turriella, y por el otro lado, aguas arriba de Valldarqués. Cortado por el torrente, se presenta como un cejo calizo de unos 40-50 metros de altura, tajado a pique en un cañón muy pintoresco por su abundante arbolado y por el brusco desnivel de sus laderas. Cerca de Valldarqués hemos recogido en sus estratos *Eschara artemis*? D'ORB., *Diastopora elegans*? D'ORB. y *Rhynchonella* sp.

En la ladera norte de la Sierra de Aubens, el barranco de Las Masías ha entallado profundamente en la ladera, excavando una hondonada regular a modo de circo, en cuyos lados afloran estas calizas arenosas sobre las cuales se apoya el caserío de Aubás. Bajo ellas hay unas margas grises oscuras, casi negras, que cerca de los molinos de Valldarqués contienen *Pecten catalaunicus* VIDAL, *Terebratula* sp. y *Rhynchonella* sp.

En la ladera sur de la misma sierra se siguen con gran facilidad, por formar un crestón de unos 20-30 metros de altura de calizas arenosas muy bien y finamente estratifi-

cadas, color amarillento con *Rhynchonella eudesi* Coq. En la carretera que conduce de Oliana a Coll de Nargó viene a cortarse casi al lado del puente sobre el barranco de Sellent; allí aparecen como calizas negras y duras, con fina estratificación regular, cuyas capas presentan restos de ostreas y otros lamelibranquios. Algunos lechos son muy arenosos, con espículas de equínidos y briozoarios.

Bajo este crestoncito calizo-arenoso aparecen margas grises azules bien estratificadas y más blandas y sueltas, pero antes de alcanzar la carretera se hacen de nuevo muy compactas, duras y calizas. En la carretera encontramos estos bancos entre los kilómetros 101,500 y 102 como calizas negras, duras, algo arenosas, con estratificación gruesa.

Por debajo vienen otras calizas margosas y blandas, que a su vez cubren una imponente masa de bancadas calizas (calizas campanienses), las cuales constituyen, entre otros contrafuertes, el bello espolón de Roca Coll, colgado sobre la carretera de Oliana a Coll de Nargó, entre los kilómetros 97 a 99. La parte alta de este espolón está constituida por aquellas margas maestrichtenses, y en ellas está el aislado caserío de Dolent d'en Coll (fig. 18), desde el que se domina una magnífica vista. Es un sitio de incomparable belleza.

## 2. Otras manchas maestrichtenses.

El maestrichtense arenoso de la Trancada de Sellent, al norte de Valldarqués, forma un sinclinal, de modo que las margas del senonense superior vuelven a aparecer al Norte, en una corrida que va desde la collada del Tosal de la Devesa hasta Sellent. En la carretera de Coll de Nargó a Boixols, al traspasar la collada o puerto que acabamos de mencionar, se ve que las capas margosas, que primero

buzan al NE. (42°), cambian luego bruscamente su buzamiento al SSE. (42-60°). El plegamiento va acompañado de fracturas y las capas están comprimidas, laminadas e incluso verticales. Todo esto confunde un poco al principio, pero sin embargo, su disposición sinclinal es bien clara y no puede haber ninguna duda de que se trata de las margas del senonense alto, dispuestas en forma normal, aunque trastornada bajo las areniscas del maestrichtense. El aspecto de las margas sigue siendo análogo al que presentan en Valldarqués, salvo la existencia de varias bancadas de verdaderas calizas. Una de ellas, muy notable, corre como un agudo crestón (señalado en nuestro mapa) de caliza gris que llega hasta Sellent y sobre el que se asienta el pueblo. Este conjunto que, como decimos, está dispuesto en forma tectónicamente normal, choca al Norte con una masa de calizas aptenses y margas y calizas liásicas, que es el frente de un pliegue cabalgante hacia el Sur. El empuje de esta masa es el que ha comprimido y trastornado el conjunto de margas senonenses.

La edad de estas margas está, por otra parte, perfectamente establecida por sus fósiles. En el cauce del barranco de La Pera aparecen como una potentísima serie de margas grises muy fina y regularmente estratificadas, en capas muy finas, entre sueltas y compactas. Se presentan comprimidas y estrujadas, pero sin que llegue a perderse nunca la continuidad de la estratificación. En la Casa de la Pera y en Can Roig contienen abundantes y buenos ejemplares de *Micraster larteti* MUN.-CHALM. y *M. coranguinum* AGASS. Otras capas, más altas estratigráficamente, que ocupan el sitio de la confluencia del barranco de La Pera con el torrente de Sellent, son muy hojosas, sueltas y desagregadas.

La barra caliza, antes mencionada, que unas veces es

de caliza gris, aquí, en el barranco, tiene tonalidades rojizas amarillentas oscuras y se presenta en bancos gruesos, duros y compactos, donde hemos encontrado radiolas de *Cidaris* y el *Lepidorbitoides socialis* var. *minor* SCHLUM. Estas calizas contienen algo de grano cuarzoso y fragmentos de pizarra paleozoica.

Es posible que esta bancada caliza-arenosa corresponda al banco calizo-arenoso bajo, citado antes en el maes-

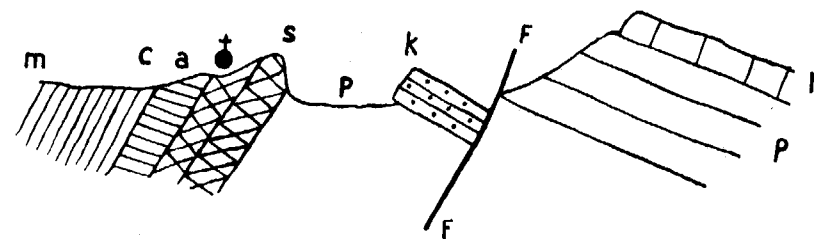


Fig. 10.

trichtense de Aubens y Turp, y entre aquéllas y el banco de la Trancada de Sellent quedan aún grandes espesores de margas grises bien y finamente estratificadas.

Ya en las proximidades de Sellent, este conjunto senonense superior está muy trastornado y, a nuestro juicio, existe una falla entre estas margas senonenses y el garumnense.

Vidal representaba esta zona local en el corte que reproducimos parcialmente en la figura 10.

En este corte *m* y *c* representan el garumnense, y la letra *c* representaría el tramo de la base, con lignitos; debajo aparecería la arenisca parda calífera o tramo de Alet, concordante con los tramos calizos con *Hippurites radiosus*, *Terebratella divaricata* y otros fósiles

senonenses; las capas *p* son calizas margosas con *Micraster brevis* y, por tanto, senonenses. En contacto con ellas están unos bancos de conglomerados *r* que lindan, por falla, con *p*, calizas liásicas pardas con crinoides, negruzcas, ocráceas, y contienen lechos margosos; o con *h*, calizas y margas liásicas de colores amarillentos que contienen *Terebratula punctata*.

No hemos recorrido la zona con detalle, y cuando la vimos no conocíamos el corte de Vidal. A nosotros nos parecía, sin embargo, por la disposición general de las capas, que entre las capas *c* y *a* y las *s* había gran discordancia, sólo explicable con la presencia de una falla. Las capas *s* son, con más o menos exactitud, continuación del banco calizo que hemos mencionado antes, y las margas *r* son continuación de los bancos en que hemos visto y recogido abundantes y bien conservados ejemplares de *Micraster*. De haber conocido previamente el corte de Vidal, hubiéramos fijado más atentamente nuestra atención en el caso para procurar llegar a una aclaración definitiva.

### C. Campaniense

Bajo las margas de Dolent d'en Coll aparece la inmensa mole caliza de Roca Coll, el conjunto litológico más denso de esa importante mole rocosa que constituye las sierras de Aubens y del Turp (fig. 18). Esta pétrea masa es la que, alzándose como un muro sobre el Segre, constituye la parte principal y más acusada del frente de la Sierra de Aubens. Examinadas de cerca, se nos manifiestan como calizas oscuras y duras, en estratificación regular, cuyos bancos se reúnen en grandes masas. Se observan restos fósiles, espículas de equínidos, *Ostrea*, *Spondylus*

*rojanus* D'ORB., etc., pero en general en muy mal estado de conservación. Hacia el Km. 99,500, en seguida de pasar el barranco de la Selva de Aubens, hemos encontrado unos foraminíferos que pudieran quizás atribuirse al género *Nummulites*. El hallazgo de este género en el senonense, en los límites de campaniense y maestrichtense, es cosa tan poco corriente, que precisa asegurarse mucho antes de afirmar dicha presencia, y los pocos ejemplares hasta ahora recogidos no permiten afirmar rotundamente que se trate de dicho género. Por estar su interior relleno de sílice las secciones no permiten identificar la estructura típica y sólo la forma externa y el tamaño apuntan al género *Nummulites*. Pudiera tratarse de otro foraminífero. Sólo una recogida más abundante podría quizá resolver la cuestión, ya que nosotros encontramos escasos ejemplares engastados en la roca.

Cerca ya de su base, estas capas calizas tienen curiosas y abundantes inclusiones, o más bien segregaciones silíceas, de pedernal y cuarzo, y grandes *Hippurites*.

En la subida a la Sierra del Turp hemos cruzado esta masa de calizas. Bajo margas calizas que son prolongación de las de Dolent d'en Coll, salen verdaderas calizas grises en bancos gruesos y regulares que se reúnen formando potentísimas masas, y en ellas hemos observado fragmentos de grandes *Pecten*, *Rhynchonella*, *Terebratula*, etc. Cuando nos acercamos a las cumbres encontramos unas calizas blancas con *Lepidorbitoides*, e inmediatamente debajo un nivel de calizas amarillogrisáceas muy arenosas. Las crestas que coronan la Sierra del Turp están de nuevo constituídas por calizas grises que llegan ya hasta la base del potente tramo.

El frente de estas calizas está roto por varias fallas, por lo que se presenta en forma escalonada (fig. 18).

A esta serie corresponderían las calizas margosas cargadas de miliólidos que describe Dalloni a ambos lados del Segre, en la carretera de Orgañá. Contienen, según él:

*Cancruxanto pyrenaicus* VAN STRAEL.

*Exogyra spinosa* LAM.

*Hemiaster* sp.

*Proratus atavus* ARM.

*Cidaris* sp.

*Siderolites Vidali* DOUV.

*Monolepidorbis sanctepelagiae* ASTRE.

Este último pertenece a un género nuevo descubierto en estas capas, que, según Astre, yacen bajo una caliza con *Hoplites vari* SCHLUM. var. *marroti* COQ. En la ribera derecha del Segre, las mismas calizas contienen, entre otros rudistas, el *Hippurites vidali* MATH. e *H. sulcatus* DEFR.

Vidal menciona que, al pasar de las margas calizas con *Terebratella divaricata* LEYM. e internarse el Segre en la hoz, aquéllas se van haciendo más calizas y compactas. En la hoz se encuentran bancos calizos con nódulos de sílex y *Ostrea auricularis* GOLD., bancos que luego son más agrisados y compactos, y finalmente se cargan de arena alcanzando gran espesor.

#### D. Santoniense-Turonense

Bajo las masas calizas de Roca Coll vienen calizas compactas alternando con margas negras finamente estratificadas, que más abajo se resuelven más claramente como capas margosas de color ceniza, tonos oscuros, con nódulos o riñones de sílex (fig. 11) que alternan con claras areniscas de grano grueso.

Y bajo ellas están los potentes bancos de caliza gris oscura con *Hippurites*, pero éstos más bien de tipo pequeño.

Es el conjunto a que hace referencia Vidal, atribuyéndole edad santoniense y describiéndole como hiladas de calizas margosas arriñonadas sobre calizas compactas. Presenta el conjunto nódulos de

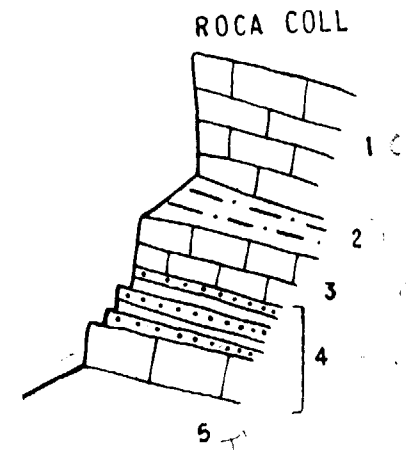


Fig. 11.

1. Gran masa caliza de Roca Coll (*campaniense*).
2. Margas oscuras con nódulos de sílex, con *Spatangoides pyrenaicus* HERBERT, *Rhynchonella diformis* D'ORB. y *Cyclolites polymorpha* GOLD.
3. Calizas compactas.
4. Areniscas claras grises, de grano grueso, alternando con margas negras y abarcando un banco calizo con *Hippurites* (*Orbignya*) *montsecanus* VIDAL, *Hippurites* (*Orbignya*) *maestrei* VIDAL y *Vacinites pouselli* DOUV.
5. Rocas con olor algo petrolífero, color oscuro.

sílex y contiene la *Exogyra spinosa* MATH., *Janira quadricostata* GEIN. y *Cyphosoma maressi* COY.

Y más tarde Dalloni lo describe de arriba abajo de la manera siguiente:

1. Calizas campanienses de Roca Coll.
2. Calizas margosas grisnegruzcas, grumelosas, con intercalaciones de bancos más duros de caliza con concreciones de sílex. Contiene esta hilada *Lima marticensis* ROEM., *Lima catalaunica* VIDAL, *H. canaliculatus* ROLL. Carez señaló como característico de estas capas el *H. canaliculatus* ROLL., que es muy abundante.
3. Otras calizas más oscuras que afloran a la salida de las gargantas, con moluscos y equínidos, y en las que se recogieron *Exogyra matheroni*, *Hemiaster verneuilli* y *Cyphosoma maressi*.
4. Caliza margosa amarillenta, areniscas bastas, amarillas y rojizas; fosilíferas en ambas riberas del Segre, con un bello banco



de *Hippurites* (cerca de Perles) que contiene: *Hippurites giganteus* var. *major* Touc., *H. galloprovincialis* MATH., *H. praecessor* Douv.

5. Caliza compacta, dolomítica, gris, con restos de rudistos.

La equivalencia de este corte de Dalloni con el nuestro resulta muy clara.

En la Sierra del Turp, el corte trazado por nosotros es el siguiente (fig. 12):

Por debajo, y según donde se trace el corte de la sierra, aun se encuentran niveles turonenses, o aptenses, o ya el liás. Es la misma serie del Coscollet, o de la Sierra

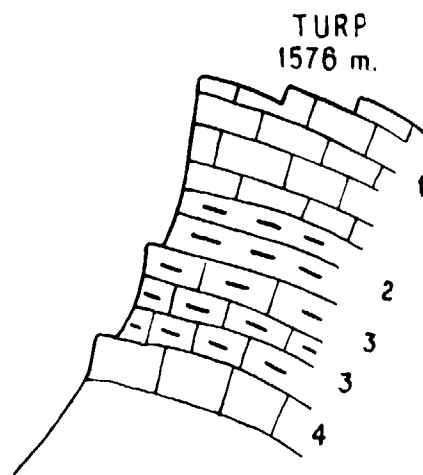


Fig. 12.

1. Calizas campanienses de las cumbres; 400 metros.
2. Un tramo más margoso y suelto, pero considerable aun como calizas margosas, que hacia la base son margas calíferas con *Pecten* sp., fragmentos de equinidos y *Pleurotomaria espaidaciana* D'ORB.
3. Calizas margosas y margas calizas con *Pecten*, gasterópodos y abundantísimos coralaris muy engastados. Junto con el anterior. 100 metros.
4. Capas de calizas arenosas rojizas que forman un cejo de 50-80 m. de altura y contienen *Hippurites*.

de Aubens, pero en ese sector aparece más completa hacia los tramos inferiores.

La disposición tectónica de estos conjuntos de capas es la siguiente: Aparecen en el Coscollet, bajo la masa de calizas campanienses de Roca Coll (fig. 18) y poco más al NE. se estrellan contra ellas por una gran falla que ha hecho descender esta zona. Con gran regularidad se extienden desde Cotarroig hasta el barranco de Boté (o de las casas de la Esquella), en que una nueva falla las hace estrellarse contra las calizas campanienses que han bajado. Luego, y ya con uniformidad, pasan al otro lado del Segre, donde en vez de colocarse en la vertiente sur de la Sierra del Turp, como lo estaban en la Sierra de Aubens, pasan a la vertiente norte, pero al sur de la collada del Turp, otra falla les hace descender de nuevo a la falda meridional, por la que siguen ordenadamente hacia el NE., constituyendo precisamente la collada de la Font del Tello, al oeste de Llinás.

Refiriendo esta serie a puntos concretos, diremos que, siguiendo la carretera de Coll de Nargó a Oliana, entramos en las calizas de Roca Coll (campaniense) hacia el Km. 101, y desde éste hasta el Km. 100, la carretera va siguiendo las capas campanienses en dirección, o sea paralelamente y cerca de su borde. Desde el Km. 100 nos internamos en ellas y las vamos dejando hacia el 98,800; allí entramos en la serie de calizas y margas oscuras santonienses con nódulos de sílex, finamente estratificadas, que vamos siguiendo casi en el sentido de su dirección, de modo que avanzamos mucho por la carretera sin descender apenas en el nivel estratigráfico; casi por las mismas capas. En el Km. 98 encontramos compactos bancos de calizas grises con pequeños rudistos. Hacia el Km. 97,900 entramos en unas areniscas claras, de grano grueso, que alternan con

margas negras y, en seguida, en el Km. 97,750, casi en la separación de los términos municipales de Oliana y Coll de Nargó, encontramos los bancos grises de calizas con rudistos, las últimas de este conjunto turonense-santonienense que están en contacto con rocas grises oscuras de olor petrolífero, de edad aptense, o urgo-aptense, dudosa.

Avanzamos por estas masas de calizas oscuras hasta pocos metros más allá del Km. 92, en que de nuevo nos encontramos en el tramo turonense-santonienense que habíamos abandonado y que contiene *Neithea* sp. Hacia el Km. 96,100 hay una falla, manifestada en la carretera por las intensas laminaciones que han experimentado las capas, y todo está tremendamente roto. Rebasada esta falla, cuya faja de trastornos es más ancha de 150 m., nos hemos colocado en tramos mucho más bajos, y tras una caliza roja muy confusa llegamos a unas capas de margas amarillas cuajadas de *Gryphea sublobata*, o sea el liásico, en el mismo Km. 96, poco antes de llegar a las casas de la Esquilla.

En forma confusa, y al parecer situadas bajo estas capas liásicas, encontramos unas capas con *Orbitoides* sp. y *Alveolina* sp., situadas al este de las casas de la Esquilla y a media ladera, hacia las calizas campanienses. Posiblemente pertenecen a una escama imbricada (escama de casa Jou), que describiremos más adelante y que aun necesita cuidadoso estudio sobre el terreno.

En otras calizas margosas de esta misma ladera se han encontrado *Preradiolites pailleti* d'ORB. y *Orbignya canaliculata* ROLL. con *Rhynchonella* sp. y *Spondylus* sp.

La parte más baja de todo este conjunto, excluido el aptense y formaciones inferiores que acabamos de describir, lo designa Vidal como turonense.

Según este autor, el senonense con *Exogyra spinosa* y *Janira quadricostata* pasa a areniscas y a margas arenosas arriñonadas con *Hippurites* que quizá son el *organisans* y el *sulcatus*. Bajo ellas existen unas areniscas que, según él, constituyen la transición al liás. Puesto que incluye toda esta serie en el turonense, es evidente que, para él, no existe aquí el cretáceo inferior, margoso, con *Orbitolina*, que tan potente es más al Norte, hacia Coll de Nargó y Orgañá.

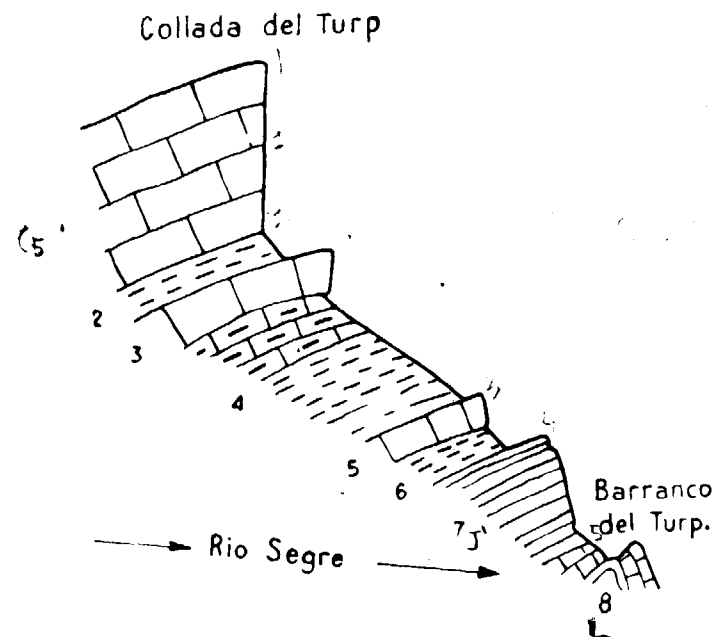


Fig. 13.

1. Gran masa caliza de Dolent d'en Coll.
2. Margas.
3. Calizas grises.
4. Calizas margosas en la parte superior, margas en la inferior.
5. Veinte metros de caliza gris.
6. Bancos algo más margosos, pero duros y bien estratificados.
7. Calizas feas atribuidas al aptense.
8. Calizas y margas liásicas fosilíferas.

Para Dalloni, se encuentran bajo el senonense calizas nodulosas y margas con políperos, después una caliza amarilla con *Toxaster* y *Orbitolinas* y, finalmente, una potente bancada de calizas con *Requienias* que descansa sobre la dolomía jurásica.

Se adivina que Dalloni no empleó mucho tiempo en su visita a esta

margen del Segre; si no, su lista de fósiles sería aquí tan completa como en otros lados. Por el contrario, la mayor parte de los datos que cita son tomados de Vidal.

El conjunto que Vidal llama areniscas de transición al liás, y que según Dalloni es dolomía jurásica, es el que se encuentra debajo del conjunto turonense-santoniense que acabamos de describir. Su posición con respecto a él es la que presenta la fig. 13, que reproduce un corte a lo largo del Segre, ofreciendo una imagen de las capas de la ribera izquierda y está representado con el número 7.

Vistos todos los antecedentes de esta cuestión, nosotros creemos que todo el conjunto 2 a 6, ambos inclusive, por encima de las pretendidas dolomías jurásicas de Dalloni hasta el campaniense representa, como dijo Vidal, el conjunto turonense-santoniense. Las *Orbitolina*, de las que por cierto Dalloni no menciona especies, quizá son nuestros *Orbitoides*. Los hemos recogido en varios sitios y examinado con cuidado. El conjunto de dolomías, si se las quiere llamar así, no representan el liásico, como decía Dalloni, ni el turonense bajo, como Vidal.

### E. Aptense

A nuestro parecer, toda esta potente masa de calizas fétidas representa el aptense. No hemos visto en ellas ningún fósil. Pero por su posición, por su aspecto y, sobre todo, por su fetidez y marcado olor a petróleo, nos recuerdan con insistencia las calizas aptenses de Boixols, Orgañá y Coll de Nargó, si bien éstas están perfectamente caracterizadas desde el punto de vista paleontológico por contener *Orbitolina*. De no ser así, habría que admitir que faltaba por completo el cretáceo inferior en esta serie de Aubens, y sería difícil de explicar la extinción, tan rápida, hacia el Sur de los grandes espesores de Orgañá.

Este conjunto se puede examinar a perfección en la orilla izquierda del Segre, aguas arriba de su confluencia con el barranco del Turp.

En la misma confluencia hay unas margas y calizas liásicas, muy trastornadas, con abundantísimos fósiles. Inmediatamente pasamos, sin que se aprecie una discordancia estratigráfica, a unas capas muy empinadas que forman el morro o espolón en la misma confluencia.

Son calizas grises amarillentas o de tonos rojizos de feo aspecto y colores oscuros; su estratificación está bastante bien marcada en gruesos bancos o mejor en potentes masas. Poco más arriba se aprecian como muy arenosas y muy fétidas, con fractura gris oscura; con éste, o parecido aspecto, llegan después de sumar considerables espesores, hasta llegar a la serie cretácea superior.

Hacia el Este, en la Sierra del Turp, esta serie se puede seguir muy fácilmente. Destaca en sus laderas como una fea masa de estratos de colores sucios y tristes, de tonos rojizo oscuros. Está bajo la misma cota 1.063, pero pasada ésta, una falla la coloca mucho más abajo, al mismo pie de la collada del Turp y deja casi de ser visible por desaparecer cobijada bajo la sierra.

Por la otra orilla del Segre, o sea hacia el Oeste, en la Sierra de Aubens, está ya bajo la carretera en el recodo que ésta hace hacia el Km. 97,600, pero su espesor está muy reducido, acabando por desaparecer por completo y el cretáceo superior queda en contacto con el liás. Pasada la gran falla de Roca Coll el supuesto aptense aparece de nuevo en toda su potencia, y al norte de la casa de la Esquella forma una magnífica y amplia bóveda anticlinal (fig. 14), cuyo flanco meridional está en contacto anormal con el liásico. En la gran falla del barranco de Cotarroig o falla del Coscollet, se estrella el aptense contra el liási-

co, y al otro lado de ella aparece mucho más arriba pero en seguida se sumerge bajo la potente masa de conglomerados oligocenos de casa Llac.

Si creemos que estas capas representan el aptense es porque mucho más arriba, a lo largo del Segre, en Hostalets, la serie estratigráfica cretácea se desarrolla gradualmente partiendo de unas calizas liásicas impuras con *Gryphea sublobata* y *Rhynchonella epilisiana* que van pasando gradual e insensiblemente a calizas negruzcas que

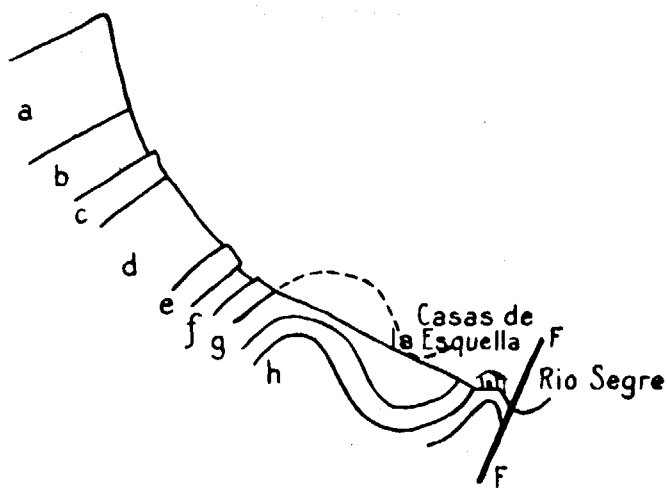


Fig. 14.

Campaniense .....	a. Calizas de Roca Coll.
	b. Margas.
	c. Banco calizo.
Santoniense-turonense. }	d. Margas calizas.
	e. Banco calizo con rudistos.
	f. Margas.
Aptense .....	g. Calizas feas.
Liásico .....	h. Calizas y margas.

comprenden bancos de dolomías calizas negras con olor muy fétido las que, a su vez, pasan insensiblemente a calizas con fósiles del cretáceo superior. En toda esta serie sólo se ha encontrado la *Terebratula sella* Sow. y *Ostrea houssingaulti* D'ORB.

Si añadimos la presencia de *Orbitolina* en capas que ocupan posición análoga, en la zona de Coll de Nargó, bien podemos aceptar edad aptense para este conjunto análogo, aunque no tenga fósiles o no se hayan visto.

## F. Liásico

En esta zona aparece casi siempre, o siempre, en las zonas de intensos trastornos tectónicos, de modo que la observación y establecimiento de su secuencia estratigráfica resulta muy difícil.

Pero Vidal, Dalloni y Misch; han estudiado el liásico de esta región en otras localidades donde su observación es clara y donde está ordenadamente dispuesto. Resumimos aquí el resultado de aquellas observaciones.

Según Vidal, el liásico se compone en los afloramientos de la zona de Seo de Urgel (Sierra del Cadí) y de Hostalets (Segre) de:

Calizas negruzcas y amarillentas estériles (sobre el triásico) que pasan a margas apizarradas de color grisazulado y tonos cenicientos y oscuros, sin fósiles, las cuales alternan en su parte alta con calizas arcillosas que contienen *Pentacrinus*, *Rhynchonella meridionalis*, *Terebratula punctata* y *T. subpunctata*, *T. jauberti*, *Mytilus* y *Trigonia*. Luego calizas muy impuras con *Gryphea sublobata* y *Rhynchonella epilisiana*, *Mytilus* y ammonites, y éstas pasan gradualmente a calizas negruzcas dolomíticas de olor fétido al golpe del martillo. La comparación de los términos de la serie Vidal y la de Dalloni es la siguiente:

VIDAL	DALLONI
TRIÁSICO	TRIÁSICO
Calizas compactas negruzcas.	Calizas veteadas de calcita, magnesianas con bancadas dolomíticas (1).
Margas apizarradas oscuras.	Margas apizarradas oscuras, alternando con calizas margosas nodulares, negruzcas, bien estratificadas (2).
	Margas potentes, color sombrío, con intercalaciones de bancos espesos y lechos arenosos rojos con fauna toarciense (3).
Calizas muy impuras.	Margas y calizas (4).
Dolomías.	Dolomías negras cristalinas y fértidas (5).
Calizas oscuras.	
CRETÁCEO INFERIOR	CRETÁCEO INFERIOR

En las capas (2) cita Dalloni:

*Belemnites.*

- Pseudopecten dieulafaite* JAUB.  
 — *acuticostatus* LAMK.  
*Pecten (Amusium) pumilus* LAMK.  
*Lima (Plagiostoma) punctata* SOW.  
*Gryphea cymbium* LAMB.  
*Rhynchonella curviceps* QUENST.  
 — *af. capitulata* TATE.  
 — *fronto* ROLL.  
 — *fallax* DESL.  
*Terebratula punctata* DESH.  
 *davidsonii* HAIME.

- Terebratula subovoides* ROEM.  
 — *subpunctata* SOW.  
 — *jauberti* DESL.  
*Zeilleria subnumismalis* DAV.  
 — *numismalis* LAMB.

En las capas (3) las siguientes especies:

- Hildoceras bifrons* BRUG.  
*Pecten (Amusium) pumilus* LAMB.  
*Lima (Plagiostoma) toarcensis* DESL.  
*Rhynchonella cynocephala* ROLL.  
 — *bouchardi* DAV.  
*Terebratula varii* ROLL.

En las (4):

- Gryphea sub-lobata* DESH.  
*Rhynchonella quadriplicata* ZITT.

teniendo este lías, según Dalloni, un gran parecido con el del Ariège.

Son muy nutridas las listas de fósiles que cita Dalloni en el liásico del Coscollet y Sierra de Aubens.

Marchando de Coll de Nargó a Oliana se encuentra aquella formación en el Hostal de la Penella, y según Dalloni se compone de:

1. Caliza compacta, gris, bastante dolomítica con algunos bancos de caliza de grano fino sublitográfica.
2. Margas pardas alternando con calizas amarillentas o grises, a veces oolíticas bastante margosas y con areniscas bastas de tinte sombrío. Contienen:
  - Belemnites umbilicatus* BRAIN.
  - Tropidoceras.*
  - Pleurotomaria.*
  - Modiola thiollerei* DUM.
  - Microceras capri-cornum* SCHLOT.
  - Segueneiceras foscense* REV.
  - Pseudopecten equivalvis* SOW.
  - *dieulafaite* JAUB.
  - *acuticostatus* LAMB.
  - Pecten (Chlamys) tectonius* SCHLOT.
  - — *dewalquei* OPP.
  - (*Eutolium*) *disciformis* SCHÜBL.
  - Pholadomya.*
  - Semipecten tuberculatus* GOLDF.
  - Harpax pectinoides* LAMB.

*Lima (Limatula) juliana* DUM.  
*Gryphea cymbium* LAMB.  
*Cypricardia falsani* (?) DUM.  
*Pleuromya jauberti* DUM.  
 — *equistriata* AGASS.  
*Spiriferina alpina* OPP., var. *falloti* OPP.  
*Rhynchonella meridionalis* DESL.  
 — *curviceps* QUENST.  
 — *fronto* ROLL.  
 — *capitulata* TATE.  
 — *triplicata* PHIL.  
*Terebratula punctata* SOW.  
 — *subpunctata* DAV.  
 — *subovoides* ROEM.  
 — *radistockensis* DAV.  
 — *jauberti* DESL.  
*Aulacothyris resuvinata* SOW.  
*Zeilleria sub-numismalis* DAV.  
 — *numismalis* LAMB.

3. Margas arcillosas con niveles de arenisca bastante basta, y calizas margosas grises con fauna toarciense. Contienen:

*Belemnites*.  
*Hildoceras bifrons* BRUG.  
 — *serpentinum* REINECKE.  
*Pecten (Eutolium) sp.*  
 — (*Amusium*) *punibus* LAMB.  
*Pholadomya fidicula* SOW.  
*Plicatula catimus* DESL.  
*Rhynchonella meridionalis* DESL.  
 — *bouchardi* DAV.  
 — *cynocephala* RACH.  
*Terebratula jauberti* DESL.  
*Zeilleria lycetti* ? DAV.

4. Margas grises o blancuzcas, micáceas, cuajadas de restos fosilíferos parecidos a lumachellas, donde abundan las *Gryphea* en forma de bancos enteros. Sustentan el cretáceo y contienen:

*Grammoceras distans* BUCK.  
*Pecten (Chlamys) dewalquei* OPP.  
*Gryphea sublobata* DESH.  
*Rhynchonella rutheniensis* REY.  
 — *angulata* SCHLOT.  
*Gryphea beaumonti* BAYLE.  
*Ceromya*.  
*Arca inequivalvis* GOLD.  
*Terebratula ovoides* SOW.

Hemos dado las completísimas listas de Dalloni para orientación de futuros investigadores, porque a nosotros, en la misma zona, no nos ha parecido tan clara la composición del liás. Éste aparece en la misma línea de la cobijadura y, como consecuencia, está casi siempre trastornado y más o menos involucrado con el triásico. Nos ha parecido difícil, en general, apreciar cuál es el orden de superposición normal de las capas. El análisis estratigráfico de Dalloni debe de referirse, sin duda, al detalle de un espesor pequeño de capas que aparecerían en paquete continuo. La abundancia de especies citadas puede, al principio, sugestionar al lector sugiriéndole que se trata de series potentes, pero el liásico de esta zona debe ser de espesor muy reducido.

Vidal, asimilando esta serie a su clasificación general del liásico antes mencionada, dice que al llegar al mesón de Esplubins, nombre actualmente en desuso (creemos que son las casas de la Esquella), hay unas capas de margas amarillentas con *Rhynchonella cynocephala*, *R. tetraedra*, *Gryphea sublobata* y *Pecten*, las cuales soportarían ya el turonense. Debajo de estas capas toarcienses aparecen calizas con *Terebratula punctata* y toda la serie descansa sobre calizas compactas, grises, del infraliás.

Si continuamos el itinerario que veníamos siguiendo a lo largo de la carretera de Coll de Nargó a Oliana para la descripción del cretáceo inferior, empezamos a encontrar el liásico en las proximidades de la gran falla de Roca Coll, hacia el Km. 96 ó 96,100. Tras la confusa zona de trastornos encontramos, en las casas de la Esquella, las capas de margas calizas y arcillas grises con banquitos cuajados de *Gryphea* y *Rhynchonella*, bajo los cuales hay capas de areniscas calizas duras, dispuestas en bancos finos y que deben ser el nivel 4 de Dalloni, cuando se refiere a esta misma serie.

Esta faja liásica se va repitiendo a lo largo de la carretera, hasta aproximadamente el Km. 95.

Es la misma corrida liásica que se encuentra al otro lado del Segre, al pie de la Sierra del Turp, en el barranco de Las Anobas, y que está dispuesta de una manera confusa debido a los intensos plegamientos. Así, frente al kilómetro 97 y a la otra orilla del Segre hay capas de margas con *Gryphea*, bajo las cuales aparecen calizas grises de color oscuro; en la ribera izquierda del barranco de Las Anobas, y junto a la confluencia, hay margas y margas calizas grises en bancos finos y bien estratificados; calizas duras, amarillentas oscuras con *Belemnites*, *Pecten* y *Te-*

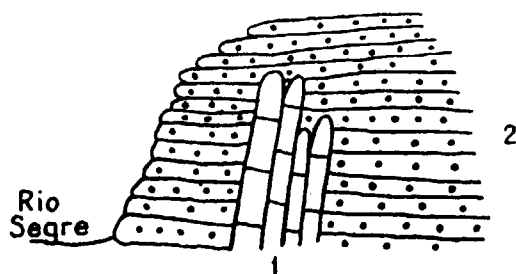


Fig. 15.

1. Liásico.
2. Conglomerados oligocenos.

*rebratula*, todo ello representando pocos metros de espesor. Estas capas se repiten al otro lado del barranco, constituyendo, al parecer, un anticlinal con aquéllas. Se presentan como margas hojosas y entre hiladas duras, con colores grises, abundantes *Gryphea* y yesos.

Esta corrida liásica queda anegada por los conglomerados oligocenos en toda la ribera izquierda del Segre. Pero donde se aprecia mejor este fenómeno es continuando por la carretera. Pasado el barranco de Cotarroig hacia



Fig. 16.—TECTÓNICA: Vista del barranco de la Mora Condal desde Cal Salvador, en la escama de Casa Jou, que es la que se ve en el centro de la fotografía. Las empinadas crestas de la derecha constituyen el flanco septentrional del anticlinal de Oliana, armado por las masas de conglomerados basales del oligoceno, aquí muy potentes. Sobre éstos viene un oligoceno de facies normal, más blando, que constituye el barranco de la Mora Condal, oligoceno coronado en nuevo por conglomerados en Tossal Creu (término medio izquierda). Todo este oligoceno está dispuesto en discordancia progresiva, con las series basales muy levantadas y las superiores más tendidas cuanto más altas, de modo que al fondo llegan a cruzar y reposar horizontales sobre la base, muy inclinada, donde la erosión ha respetado todo el conjunto. Las calizas, en primer término, son retazos del cretáceo superior de la escama de Casa Jou. Las depresiones blandas son, al parecer, garumnenses. A la izquierda está el interesante eoceno de la escama. Las capas subhorizontales de la derecha del término medio son oligocenas.

Fig. 17.—TECTÓNICA: Fotografía tomada desde el interior del anticlinal de Oliana, en dirección al NO. El crestón visible a la izquierda del segundo término son los conglomerados basales del oligoceno del flanco septentrional, muy inclinados. A la derecha del crestón, y un poco más al fondo, son visibles las cascas de Castell-Llebre, erguidas sobre una Peña. Detrás hay una estrecha tira del liásico y cretáceo de la serie de Peramola. Por encima de todo se apoyan discordantes las masas horizontales de conglomerados oligocenos de San Honorato. Vemos pues, muy próximos, los dos términos de la serie oligocena; los conglomerados basales muy inclinados, y los superiores horizontales.





*Fig. 16.—TECTÓNICA: Vista del barranco de la Mora Condal desde Cal Salvador, en la escama de Casa Jou, que es la que se ve en el centro de la fotografía. Las empinadas crestas de la derecha constituyen el flanco septentrional del anticlinal de Oliana, armado por las masas de conglomerados basales del oligoceno, aquí muy potentes. Sobre éstos viene un oligoceno de facies normal, más blando, que constituye el barranco de la Mora Condal, oligoceno coronado en nuevo por conglomerados en Tosal Creu (término medio izquierda). Todo este oligoceno está dispuesto en discordancia progresiva, con las series basales muy levantadas y las superiores más tendidas cuanto más altas, de modo que al fondo llegan a cruzar y reposar horizontales sobre la base, muy inclinada, donde la erosión ha respetado todo el conjunto. Las calizas, en primer término, son retazos del cretáceo superior de la escama de Casa Jou. Las depresiones blandas son, al parecer, garumnenses. A la izquierda está el interesante eoceno de la escama. Las capas subhorizontales de la derecha del término medio son oligocenas.*

*Fig. 17.—TECTÓNICA: Fotografía tomada desde el interior del anticlinal de Oliana, en dirección al NO. El crestón visible a la izquierda del segundo término son los conglomerados basales del oligoceno del flanco septentrional, muy inclinados. A la derecha del crestón, y un poco más al fondo, son visibles las casas de Castell-Llebre, erguidas sobre una peña. Detrás hay una estrecha tira del liásico y cretáceo de la serie de Peramola. Por encima de todo se apoyan discordantes las masas horizontales de conglomerados oligocenos de San Honorato. Vemos pues, muy próximos, los dos términos de la serie oligocena; los conglomerados basales muy inclinados, y los superiores horizontales.*





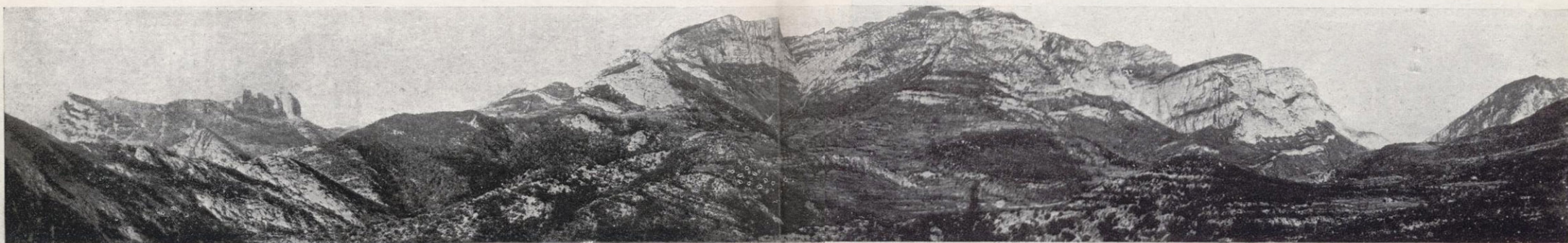
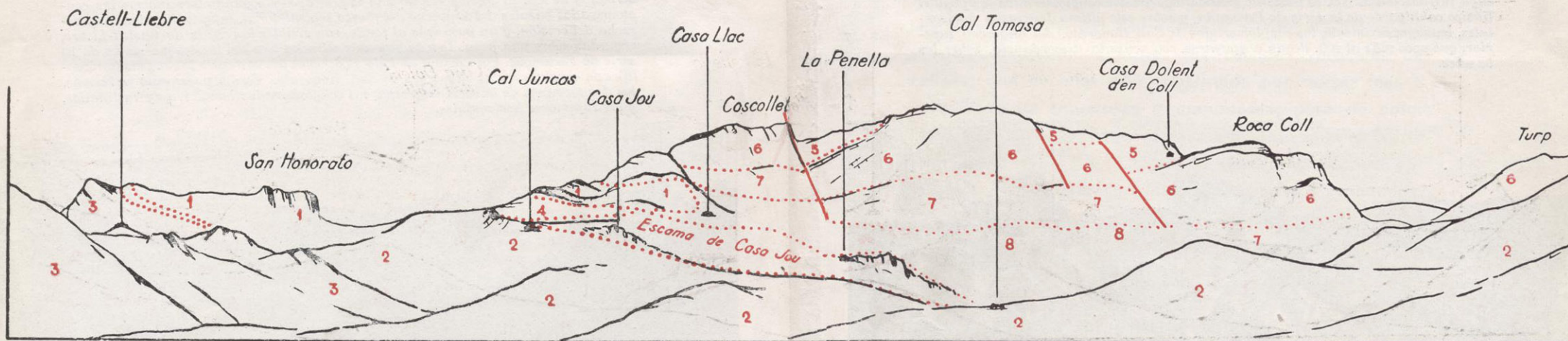
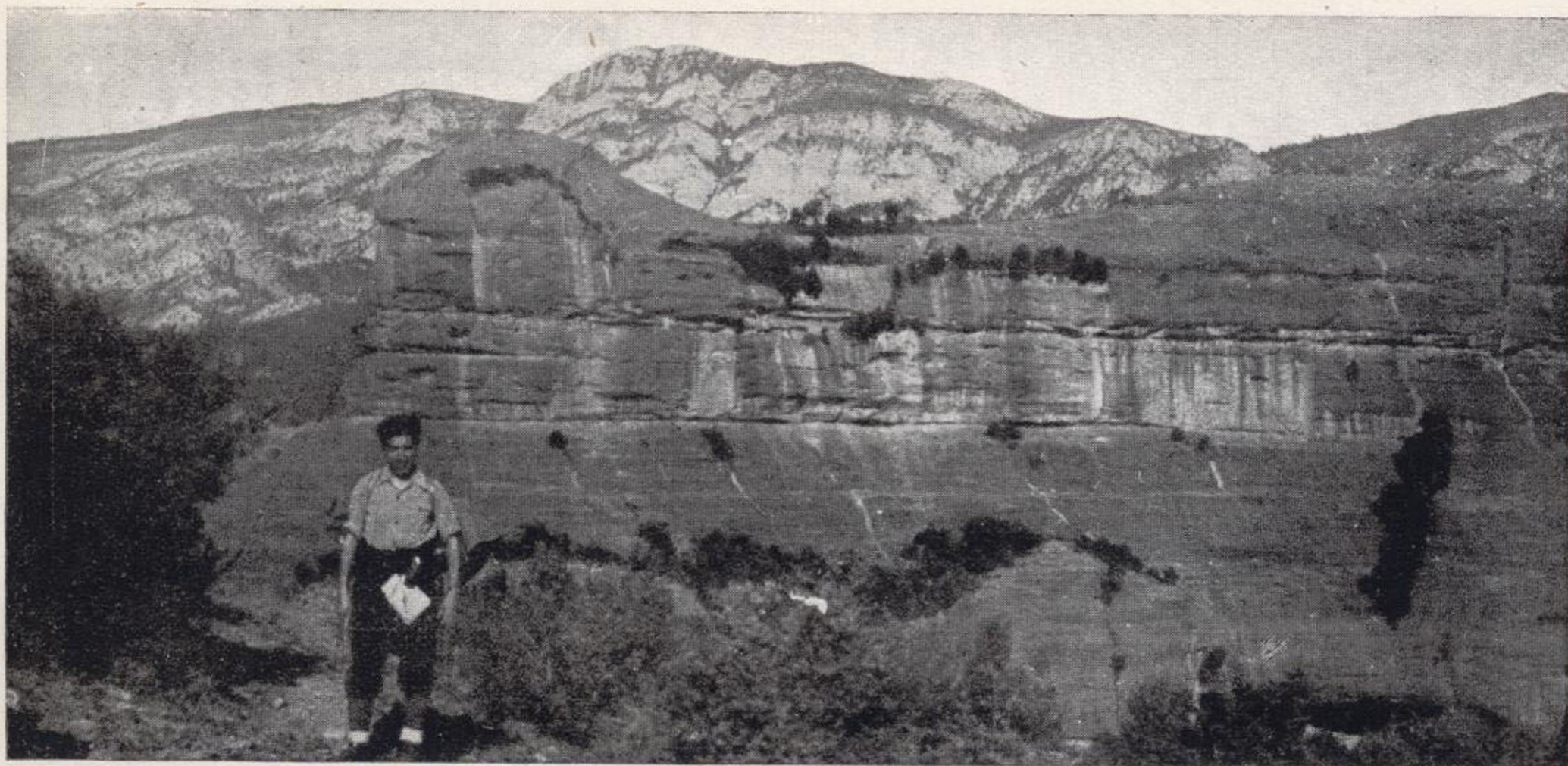


Fig. 18.—SERIE DE AUBENS-TURP: Vista de la Sierra de Aubens, desde un punto al pie del flanco septentrional del anticlinal de Oliana, en dirección al NO. La serie estratigráfica de la Sierra de Aubens, fragmentada en varias fallas, se ve casi completa, excepto su culminación garumnense, que queda oculta detrás de la Sierra, y su parte baja, liásica y triásica. La serie maestrichtense (5) es visible en las cimas, sobre y tras las calizas campanienses (6) que constituyen las grandiosas escarpas de aquella, así como de la Sierra del Turp, en el borde derecho. El conjunto santoniense-turonense (7) se dispone regularmente debajo, sobre las feas calizas (8) que hemos atribuido al cretáceo inferior, por analogía con otras bien datadas, pero situadas más al Norte. Como decíamos, por debajo están aún el liásico, muy fosilífero, y el keuper, quizá visibles a pequeños retazos en la fotografía, pero casi siempre ocultos tras las lomas del primer término. Esta unidad tectónica cabalga a la pequeña escama de Casa Jou, constituida por cretáceo superior confuso, trastornado y milonitizado, y una banda de eoceno fosilífero (4). Esta escama de Casa Jou está

aún incompletamente conocida y necesita aún ser estudiada en sus detalles propios y en su relación con la serie de Aubens. Por encima de la escama de Casa Jou, a la derecha de Casa Llac, está el liásico fosilífero, correspondiente a la base de la serie de Aubens en su sector del Coscollet. El resto de la fotografía está integrado por formaciones oligocenas, ya en sus conglomerados de base (3) del anticlinal de Oliana, ya de la facies normal (2) intermedia, ya de los conglomerados superiores (1). La facies normal (2), en primer término, hasta la derecha, corresponde al barranco de la Mora Condal. Al fondo, a la izquierda, tenemos, detrás de Castell-Llebre, la delgada extremidad NE. de la escama de Peramola, cabalgante sobre los conglomerados basales (3) y transgredida por los superiores (1) de la ermita de San Honorato. Son de notar las masas de conglomerados oligocenos (1) por encima de Cal Juncás y de Casa Llac, adheridos sobre el flanco de la Sierra de Aubens, a gran altura, y muy violentamente levantados en su borde al contacto de aquella. Esta interpretación rectifica la que dimos en 1943 sobre la misma fotografía.





*Fig. 19.—TECTÓNICA: Los conglomerados oligocenos de la ermita de San Honorato, al norte de Peramola, descansan en potentísimas masas horizontales sobre un oligoceno margoso-areniscoso, en discordancia progresiva, y también en discordancia muy marcada sobre la serie de Peramola, que desaparece oculta bajo aquéllos. Al fondo, el cretáceo superior de la Sierra de Aubens.*

*Fig. 20.—TECTÓNICA: La ermita de Castell-Llebre, al norte de Peramola, descansa sobre los conglomerados de base del oligoceno del flanco N. del anticlinal de Oliana. La fotografía muestra muy bien la disposición y estructura de estos conglomerados, cuya inclinación al NO. es bastante grande. Sobre estos conglomerados se apoya el liásico cabalgante de la serie de Peramola, y sobre este último descansan horizontales, transgresivamente, los conglomerados de San Honorato, del oligoceno superior, que poco más al NO. llegan a apoyarse, con acusada discordancia, sobre los basales.*



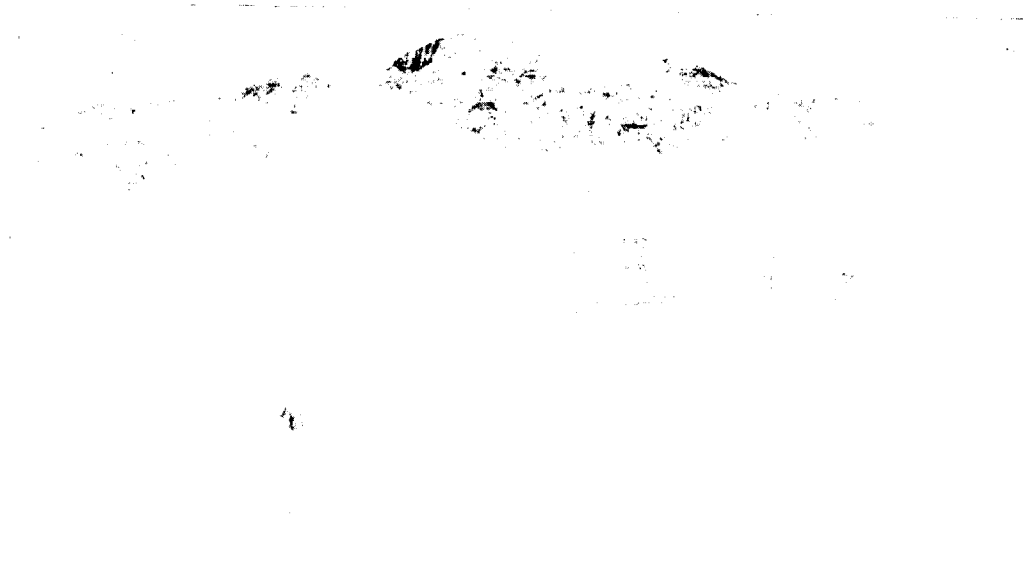


Fig. 19. —TECTÓNICA: Los conglomerados oligocenos de la ermita de San Honorato, al norte de Peramola, descansan en potentes masas horizontales sobre un oligoceno margoso-areniscoso, en discordancia progresiva, y también en discordancia muy marcada sobre la serie de Peramola, que desaparece oculta bajo aquéllos. Al fondo, el cretáceo superior de la Sierra de Aubens.

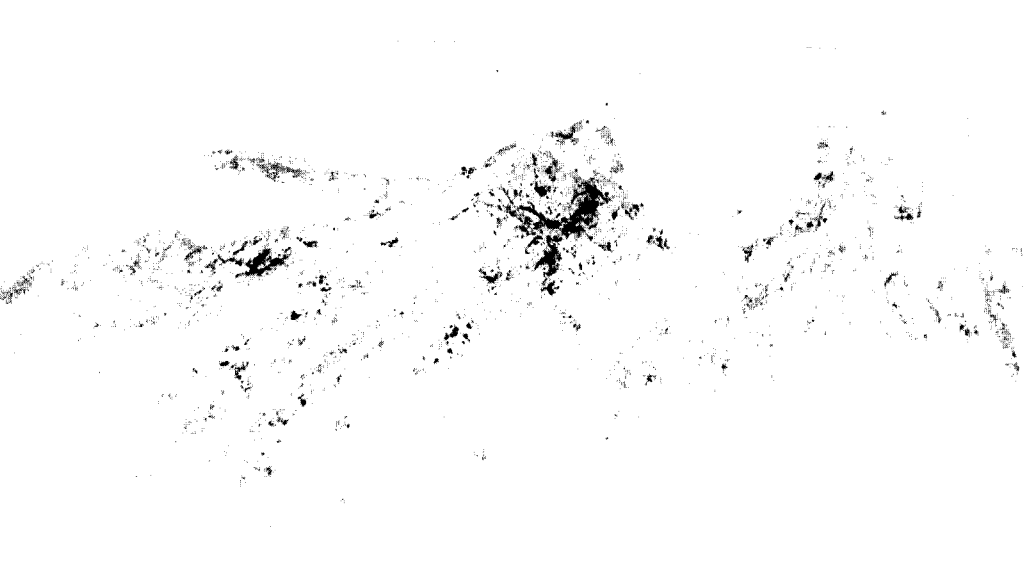


Fig. 20. —TECTÓNICA: La ermita de Castell-Llebre, al norte de Peramola, descansa sobre los conglomerados de base del oligoceno del flanco N. del anticlinal de Oliana. La fotografía muestra muy bien la disposición y estructura de estos conglomerados, cuya inclinación al NO. es bastante grande. Sobre estos conglomerados se apoya el liásico cabalgante de la serie de Peramola, y sobre este último descansan horizontales, transgresivamente, los conglomerados de San Honorato, del oligoceno superior, que poco más al NO. llegan a apoyarse, con acusada discordancia, sobre los basales.

el Km. 94,100 ó 94,150, encontramos de nuevo el liásico, que en la cota que queda a la derecha de la carretera está constituido por margas amarillas con abundantísimas *Gryphea*, por calizas de aspecto arenoso, quizá del retiene, y por calizas compactas con gran cantidad de restos fósiles, *Belemnites*, *Gryphea*, *Rhynchonella*, grandes *Terebratula*, etc., todo ello muy trastornado; esta corrida continúa, por un lado, monte arriba, en dirección a Castell-Llebre, por el otro cruza el río y queda materialmente «cogida» por el conglomerado oligoceno con una magnífica discordancia (fig. 15).

### G. Triásico

El triásico aparece siempre en zonas de violentas fracturas, y es el keuper la formación plástica que ha servido para facilitar los arrastres una vez iniciados los desplazamientos por los empujes y fracturas.

Aparece en manchas discontinuas. Lo hemos visto en la ribera izquierda del Segre, frente al Km. 95,500, como yesos, comprendidos entre dos corridas verticales de calizas; una de ellas está constituida por calizas feas e irregularmente oquerosas y carniolosas, pero de color blancuzco, no amarillento. Inmediatamente más al Norte falta este crestón y el keuper está en contacto con el oligoceno. Ambos aparecen muy trastornados y laminados. En la misma ribera y frente al Km. 97 se ven de nuevo los yesos del keuper junto a unas típicas e inconfundibles carniolas. Aparece allí confusamente mezclado con las capas liásicas de *Gryphea*.

Esta discontinua faja triásica cruza el Segre y reaparece varias veces al pie de la Sierra del Turp, por ejemplo

junto a la fuente de San Juan, y también al norte de esta aldea, donde aparece como yesos abigarrados con jacintos de Compostela y con bancos de carniolas.

Los conglomerados oligocenos de la canal de la Mora Condal (figs. 16, 27 y 29), presentan en algunas localidades color rojo aun más vivo y acusado que el que les es habitual. Contienen, además, abundantísimos jacintos de Compostela. Con seguridad se han formado *in situ* a expensas de manchas del keuper, ahora ocultas bajo el oligoceno y que pertenecen al conjunto de las que jalonan el flanco meridional del Turp.

### Espesores de estas formaciones

Vamos a citar las cifras de espesores máximos apreciados. Téngase en cuenta que los máximos de cada piso o tramo no coinciden en la misma vertical en la fosa sedimentaria, de modo que no pueden sumarse sin más, para obtener el espesor conjunto de la serie.

Los tramos bajos engrosan hacia el Norte; los altos hacia el Sur.

#### Espesores máximos:

Garumnense .....	1.200 metros.
Maestrichtense sup. ....	300 m. (al O.), 60 m. (al E.).
— inf. ....	1.100 metros.
Campaniense.....	400 metros.
Turonense-Santonense.	350 - 400 metros.
Cretáceo inferior.....	400 m. en el Segre, al pie del Turp; disminuye rápidamente al S. y SO.
Liásico .....	60 - 100 metros.

## II. SERIE ESTRATIGRÁFICA DE LAS SIERRAS DE PRADA Y SAN JUAN

La zona que acabamos de describir está limitada al Norte por un importante accidente tectónico, cuya dirección, variable, es aproximadamente Oeste-Este.

Al norte de ella existe un complejo conjunto estratigráfico parecido al que hemos estudiado, pero no exactamente igual. La diferencia principal reside en la composición del cretáceo inferior y en la variación entre los espesores de los mismos tramos en una y otra serie.

Toda esta serie ha sido empujada hacia el Sur, y su borde (correspondiente a un pliegue falla, o a un frente de cobijadura) está constituido por diferentes formaciones liásicas y aptenses, y aparece en contacto con las formaciones garumnenses y senonenses altas del bloque meridional, o de las series de Turp y Aubens, que hemos descrito antes.

El hecho de que la diferencia de composición del cretáceo inferior en ambas series sea muy notable, sobre todo si se tiene en cuenta que tiene lugar en tan pequeña distancia horizontal como separa actualmente ambos bloques (fig. 32), parece indicar que el avance ha sido grande, es decir, que lo ha sido también la distancia original. Por ley estratigráfica es preciso que el cambio de facies en

formaciones de esa potencia y espesor, se haya verificado gradualmente en una depresión, y las calizas arenosas y estériles del bloque sur tenían forzosamente que estar más alejadas de las margas fosilíferas aptenses del bloque norte que lo están actualmente. Esa distancia se redujo tectónicamente al avanzar la serie de San Juan en dirección Sur sobre la de Turp y Aubens y colocar muy cercanas facies distintas, cuyo tránsito lateral se debe realizar en distancias mayores. Sin embargo, las construcciones paleogeográficas de la fig. 34, construídas a escala real, muestran cómo es posible la surgencia de tales pliegues a partir de un sinclinal de aquellas características.

Nuestros estudios del bloque norte, constituído sobre todo por los ingentes macizos de Prada y San Juan, se han limitado al mismo borde de la cobijadura, y, por consiguiente, para completar estos datos, hemos recurrido abundantemente a los trabajos de Vidal, Dalloni, Astre y Misch, que los estudiaron más detenidamente.

#### **Serie de la Ermita de Santa Fe.**

A esta bella serie estratigráfica, que ha sido estudiada por diversos autores, entre los que destacan Vidal, Dalloni y Astre, se le han atribuído diferentes edades. Vidal la consideraba, al principio, como aptense; Carez, neocomiense medio; Dalloni, más tarde, como albense. Astre (1), considera que la diferencia entre estas apreciaciones partía del error que suponía admitir una misma edad para todo el conjunto de tan gran espesor, y estima que su mayor parte corresponde al aptense, y la parte más alta al

---

(1) G. Astre: «Sur les petites orbitolines de Santa Fe de Organyá». Bull. de la Soc. Géol. de la France, 4.ª Série, tome 29, page 305 à 319. 1929.

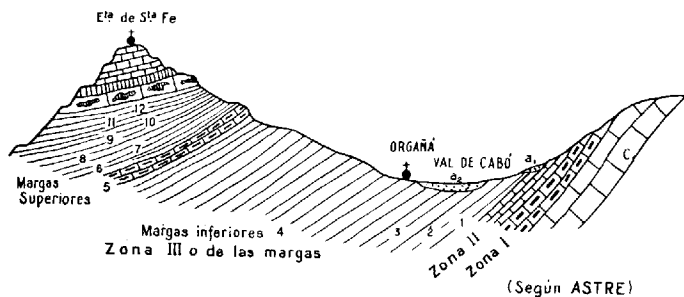
ASTRE

DALLONI

VIDAL

- C. Margas superiores.
12. Zona de margas con escasas *Orbitolinas* planas.
  11. Zona de pequeñas *Orbitolinas* planas y braquiópodos, sin *Orbitolinas* cóncavas. *Rhynchonella* sp., *O. mamillata* d'Arch., *O. subaperta* Orb., *O. aperta* Erman., *O. concava* Lamk.
  10. Margas grises sin fósiles.
  9. Margas más calizas y fauna más arrecifal con abundantes *Orbitolinas*, *Polyconites verneuilli* Bayle, *Pseudotoucasia* sp., *Lima royerana* d'Orb., *Nerinea* sp., *Sinastrea utriellensis* Coq., *Orbitolina conoidea* Agass.
  8. Empiezan a abundar las *Orbitolinas* cóncavas, que a veces cuajan los bancos. *Pecten (Chlamys) aff. robinaldinus* d'Orb., *Orbitolina conoidea* Grass., *O. discoidea* y escasas *O. lenticularis* Blum.
  7. Banco margoso con ostreas. *Exogyra latissima* Lamk., *Ostrea macroptera* Sow., *Corbis corrugata* Sow., *Photadomya aff. valanginiensis* Pietz Camp., *Arca* sp. aff. *matheroniana* d'Orb., *Lucina* aff. *sanctae crucis*, *Terebratula crassica* Leym., *Terebratula tamarindus* Sow.
  6. Margas pizarreñas grisazuladas con bancos de calizas amarillas. *Exogyra latissima* Lamk.

- B.
5. Banco calizo intermedio; caliza margoso-arenosa gris, a veces amarillenta. Único cretón que interrumpe la pendiente. *Lima royerana* d'Orb., *Ostrea* sp., *Terebratula cf. sella* Sow.



- A. Margas inf.
4. Margas localmente más pizarreñas con lechos calizo-margosos más potentes. *Plectozoster colleznoi* Sism.
  3. Margas grises bajo el aluvión del Segre con escasas *Orbitolina discoidea* Grass. y *O. conoidea* Grass.
  2. Enfrente del Km. 110,780, a 150 ó 200 metros del puente sobre el río Cabó, intercalación de margas calizas de rotura muy concoidal, nidos de fósiles muy piritosos con *Parahoplites furcatus* Sow., *P. dufrenoyi* d'Orb., *Belemnopsis (Nehobites) semicanaliculatus* Blainv., *Arca* sp., *Plicatula* sp.
  1. Margas que empiezan frente al Km. 111,100, con margas azuladas en la parte alta; tienen *Orbitolina discoidea* y *O. conoidea* Grass., escasas.

- II
2. Del Km. 111,100 al 111,100, 250 metros de calizas margosas negruzcas, negras o azul oscuras, y calizas grises amarillentas. Nódulos de limonita en las facies margosas. Pasos laterales e indentaciones. *Arca* sp., *Lucina* sp., *Corbis corrugata* Sow.
  1. Margas hojosas fisiles, muy calizas, negras o azul oscuro. Frente al kilómetro 111,475. Potencia, 80 metros.

- I
- Calizas compactas, de grano bastante fino, negras, en bancos bastante gruesos, con numerosas vetillas de calcaita. Tinte oscuro distinto de las claras calizas urgonienses de las gargantas. Desde el Km. 111,950 al 111,500.

Expone Astre interesantes consideraciones paleobiológicas y estratigráficas que permiten separar dos conjuntos: Zonas I, II y III, hasta 9 inclusive; Aptense, y Zona III, de 10 a 12, con pequeñas *Orbitolinas* planas: Albense.

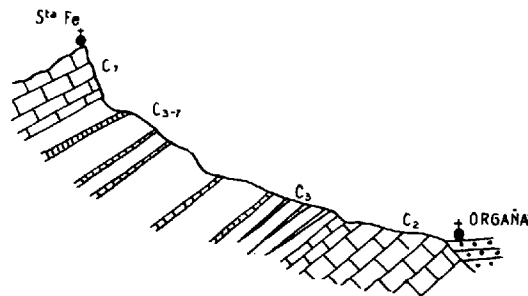
Considera Astre como fósiles de nivel los ammonites, que, según Killian, serían del bedonliense más alto, pero que también se encuentran en el gargassienae bathial del SE. de Francia. El *Polyconites verneuilli*, que es francamente aptense. La *Exogyra latissima*, que a pesar de ser lamelibranchio, es un buen fósil de nivel, siempre aptense, llegando a veces al albense, pero ya con mutaciones inconfundibles. Las pequeñas *Orbitolinas* cóncavas, aptenses. Las pequeñas *Orbitolinas* planas son albenses (aunque aparecen mezcladas con pequeñas especies cóncavas, pero el predominio es de las formas planas).

Calizas margosas grises con *Acanthoceras mantelli*, *Puzosia mayori*, *Orbitolina concava*. Cenomanense inferior.

Calizas oscuras y margas. Albense inferior.  
Calizas margosas negruzcas con fósiles, cuajadas de foraminíferos y ricas en fósiles de gran tamaño, con caparazón silicificado.  
*Harpagodes*. *Rhynchonella dutemplei* d'Orb.  
*Lithodomus*. *Terebratula dutemplei* d'Orb.  
*Sphaera corrugata* Sow. *— longella* Leym.  
*Pseudotoucasia santanderensis* Douv. *Zeilleria tamarindus* Sow.  
*Polyconites verneuilli* Bayle. *Terebratula crassica* Leym.  
*Horiopleura*. *Serpula cf. saxangulum* Müns.  
*Trigonia serabicola* Lycett. *Brizoarios*.  
*Rhynchonella aturica* Leym. *Latimeandra*.  
*Granocardiium montonianum* d'Orb. *Orbitolina subconcava* Leym.  
Margas azuladas hojosas y bancos de areniscas finas, ferruginosas, con superficies cubiertas de restos vegetales y algunas capas de lignito. Contienen *Plicatula placunea* Lamk., *Plicatula radiola* Lamk., *Alectoniu macroptera* Sow., *Exogyra aquila* Brong., *Polydiadema*, *Toxaster colleznoi* Sism., *Pentacrinus cycloseris*.

Calizas de tinte claro, gris ceniza, muy arcillosas, con *Parahoplites furcatus* Sow. *Arca carinata* Sow.  
*Pleuromaria*. *Trigonia cf. caudata* Agass.  
*Nerinea dupini* d'Orb. *Cyprina rostrata* Fitton.  
*Chlamys robinaldi* d'Orb. *Terebratula sella* Sow.  
*Neithea atava* d'Orb. *Cidaris pirenaisica* Cott.  
*— morrisi* Pict. y Ren. *Serpula filiformis* Sow.  
*Lima costaldina* d'Orb. *Orbitolina conoidea* Grass.  
*Arca dilatata* Coq. *— discoidea* Grass.

*Toxaster colleznoi* Sism. y abundantes *Orbitolinas*.  
Otra vez las capas más margosas de Hostalnou en larga y monótona sucesión de margas nodulosas alternando con calizas margosas grises o negruzcas con algunos bancos bastante compactos de caliza.



Salida de las gargantas.  
Calizas urgonienses.  
Calizas urgonienses de nuevo.  
Falla.  
Calizas margosas y margas grises (de Hostalnou). Fósiles más abundantes y sueltos.

(Aquí el Hostalnou. El valle se ensancha y forma un pequeño circo).  
Calizas compactas con numerosas diaclasas muy fisuradas, aparentando capas verticales. Con numerosas grutas (\*). Veteadas de filoncillos de calcaita fibrosa que se entrecruzan. Rotura grisácea tirando a azulada con secciones de *Requienia*, *Toucasia* y *Nerinea*, *Ostrea*, *Lima* y *Orbitolina*; algunos bancos son muy zoogenos.  
Dolomías. Jurásico.

(\*) Según cita Dalloni, Noblemaire las describió como caliza grisblancuzca, cuajadas de *Ostrea* y ricas en equinoides, con 300 metros de espesor; y Leymerie como calizas bastante compactas y veteadas, estratificación poco distinta, con raras fósiles, entre los que son más frecuentes las secciones de *Caprotina*. Al sur del albergue de Hostalnou, en calizas más margosas, hay *Terebratula sella* Sow. y *Exogyra bousingaulti* d'Orb. Las últimas capas, al salir de la garganta, son calizas negras pasando a dolomía y otras con nódulos de pedernal.

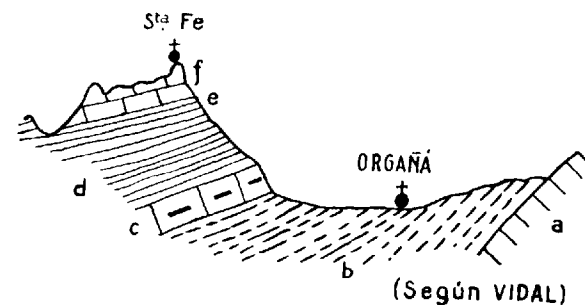
- (f) Calizas compactas y margosas con *Micraaster brevis*. Senonense.
- (e) Calizas color claro con *Hippurites organais* y *Hemiasiter*. Turonense.
- (d) Calizas compactas y subcompactas.

Bancos con *Orbitolinas* lenticulares.  
Un banco con algunas *Orbitolina discoidea* Grass. y, además, numerosas *Ostrea aquila* Goldf., *Terebratula biplicata* Sow. igual a *dutempleana* d'Orb., *Cyprina expansa* Coq.

- En el banco (e) hay, además, *Ostrea aquila*, *Rhynchonella gibbsiana*, *R. conforti*, *Terebratula sella*, *T. cloris* y *T. crassica*.
- (c) En la base de la Sierra de Santa Fe hay masas grises y azuladas de más de 50 metros de espesor que encierran bancos constituidos por *Orbitolina*, en su mayor parte.

Contienen:  
*Orbitolina conoidea* Grass. *T. tamarindus* Sow.  
*— discoidea* Grass. *T. longella* Leym  
*Cidaris pirenaisica* Cott. *Rhynchonella gibbsiana* Daw.  
*Ostrea aquila* d'Orb. *— conforti* d'Orb.  
*Terebratula delbec* Hebert. (igual a *Janira morrisi* Pict.  
*— crassica* Leym.) *Mytilus* sp.  
*Terebratula sella* Sow. *Lithodomus* sp.  
*— cloris* Coq.

Quizás son el 7 y 8 de Astre.



(b) Calizas margosas.

- (a) Banco de caliza completamente negra.
- (a) Calizas más o menos oscuras.

Calizas margosas con *Terebratula sella* Sow. y *O. bousingaulti* d'Orb.

Paso gradual al jurásico.

albense inferior. Dalloni, señala la existencia del cenomane, y Vidal, posteriormente, del turonense y senonense, siendo esta última formación la que sustenta la ermita de Santa Fe.

El cuadro de la lámina I pone de manifiesto las equivalencias de estos autores y sus determinaciones petrográficas y paleontológicas, con lo que la serie de Santa Fe queda minuciosamente detallada. Nosotros apenas la conocemos; al norte de ella hicimos el corte a lo largo del Segre, ascendiendo aguas arriba en dirección a Hostalets. Rebasados los depósitos fluviales de Organyá, encontramos en el Km. 110,850, margas muy tableadas y laminadas, sueltas, de color gris oscuro, que en el Km. 111 son más calizas y algo fétidas, siendo ya duras y muy bien estratificadas, de grano fino y compacto; en el Km. 111,100, el conjunto es cada vez más calizo y compacto, oscuro, muy fétido, verdaderas calizas en masa, con juntas en los lisos de una sustancia negra que parece más bien carbonosa que asphaltífera.

Siguen como calizas en masa, y en el Km. 113 la estratificación se observa magníficamente. Hacia el kilómetro 145,200, empieza todo a ser más margoso y siempre finamente estratificado. Hasta aquí la serie había aparecido como sumamente regular, variando su pendiente de 55° a 65° como promedio, pero aquí empieza a estar muy trastornada. Pasado el puente donde la carretera cruza el Segre, debe haber una gran falla y aparecen de nuevo las calizas en masa. Hacia el Km. 116,500 hay calizas oscuras amarillentas, grisáceas, como del liásico, y al llegar a Hostalets, estamos ya en el triásico.

Prosiguiendo esta serie en su desarrollo hacia el Oeste, se sigue presentando con grandísima uniformidad. Como a un kilómetro de la ermita de Santa Fe aparece en el eje

del sinclinal, coronando la serie, el garumnense. Aun más al Oeste, esta enorme masa estratigráfica, que todavía persiste en su estructura sinclinal, recibe el nombre de Sierra de San Juan. Su flanco meridional constituye una gran ta-

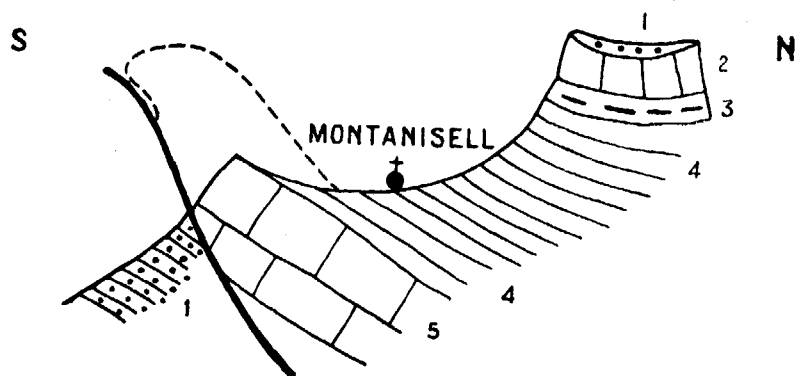


Fig. 21.

1. Garumnense.
2. Senonense.
3. Turonense.
4. Aptense-albense.
5. Urgoniense.

bla, que forma parte de un anticlinal volcado al Sur y fallado.

Es decir, toda esta serie está limitada al Sur por la rotura de un gran pliegue-falla y sus contactos meridionales son todos ellos anormales (fig. 21).

Más al Oeste, en Boixols, las circunstancias son parecidas, y allí la serie ha sido estudiada con detalle por Vidal (1), quien la representa en un corte en que las capas son las siguientes (fig. 22):

1. Conglomerados supra-numulíticos.

(1) L. M. Vidal; «Nota acerca del sistema cretáceo de los Pirineos de Cataluña», 1877.

## SENONENSE.

2. Margas arríñonadas de color grisazulado; calizas margosas algo sabulosas; areniscas calíferas sobre las que descansa Rúa. Margas arenosas que a la izquierda del torrente de Boixols llamado Los Valls, del término de Valldarca, tienen *Terebratula divaricata* LEYM.

## Falla.

## SENONENSE.

3. Margas y calizas arcillosas muy desarrolladas, del Carreu, con *Micraster brevis* DESOR, *Micraster matheroni* AGASS., *Echynochoris vulgaris* BREIN, *Holaster*, *Ammonites*.

## TURONENSE.

4. Calizas y areniscas que forman un escarpado muro de Este a Oeste, hasta terminar en la ermita de Santa Fe de Organyá.
5. Banco con *Hippurites organissans* MONTF.

## CENOMANENSE.

6. Margas muy potentes, que en el cerrito Volcadors, a un kilómetro de Boixols, a la derecha del camino de Abella, son muy fosilí-

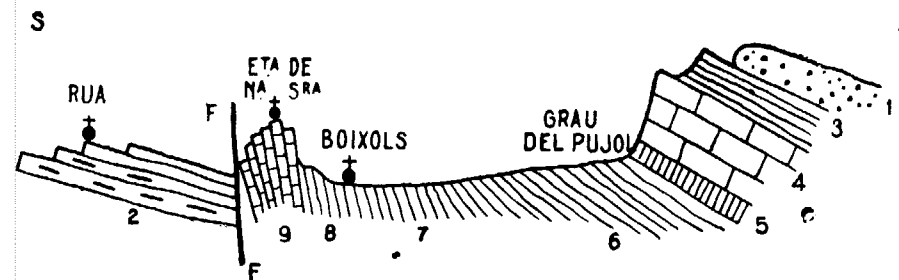


Fig. 22.

feras y contienen *Ostrea carinata* LAMK, *Ostrea conica* D'ORB., *Rhynchonella contorta* D'ORB., *R. grassiana* D'ORB., *Hemister gaudriyi* HEB.

## ALBENSE.

7. Calizas azuladas y parduscas, arcillosas, y margas negruzcas azuladas, muy potentes. Por el camino de Montaniseil a Boixols tienen *Nucula bivirgata* FITT, *Cardita dupiniana* D'ORB., *Plicatula radiosa* LAMK, *Terebratula* sp., *Rhynchonella lata*.



## URGO-APTENSE.

8. Margas y calizas con *Orbitolina conoidea* y *O. discoidea* GRASS, asoman al este de Boixols al salir por el camino que va al de Boixols y a Gabarra, antes de llegar a un cerro donde se intentó explotar una mala veta de lignito.
9. Calizas compactas que forman una sierra de Este a Oeste, cortada por el torrente de Boixols.

Otra descripción de la parte superior de esta serie da Dalloni en un corte trazado, al parecer, por el camino que va de Montanisell a la Abella, pasando por Carreu. Rebasado el anticlinal de Montanisell, donde hay una perforación triásica en que esta formación atraviesa (junto con el lías) la serie jurásica, va encontrando sucesivamente:

1. Calizas margosas grises compactas, correspondientes al turonense, con *Hippurites organissans* VIDAL, pero que para Dalloni serían ya coniacienses y los *Hippurites cf. resectus* de DEFR.
2. Calizas margosas gris claras y margas grumelosas blancuzcas, formando los mamelones y mesetas altas que siguen por el Este hasta el Segre. Vidal señaló en Carreu algunos equínidos y ammonites indeterminados, y Dalloni cita de esas localidades los siguientes fósiles:

*Nautilus.*

*Mortoniceras.*

*Pleurotomaria.*

*Cerithium* (gran tamaño).

*Exogyra plicifera* COQ.

*Neithea regularis* SCHLOT.

*Lima marticensis* ROEM.

*Hippurites maestrei* VIDAL.

*Preradiolites.*

*Rhynchonella diformis* D'ORB.

*Terebratula aff. toucasi* D'ORB.

*Hemiaster cf. punctatus* D'ORB.

*Micraster corbaricus* LAMB.

— *cairetonensis* LAMB.

— *sphaerula* LAMB.

— *matheroni* DESOR.

— *coranguinum* KLEIN.

*Echynolampas gravesi* DESOR.

*Cardiaster integer* AGASS.

*Vologesia avum* GRAT.

*Cyclolites.*

*Lacazina elongata* MUN.-CHALM.

Como hemos dicho antes, las capas de la Sierra de San Juan continúan hacia el Sur con enorme regularidad en una extensa corrida de dirección E.-O., en la que enclavan los pueblos de Boixols y Montanisell, y que constituye el flanco Norte de un anticlinal en rodilla, roto y cuyo flanco septentrional cabalga considerablemente sobre el meridional.

Nosotros hemos visto estas unidades estratigráficas en un corte trazado por la nueva carretera de Coll de Nargó a Isona, que pasa por Valldarqués y collada del Tosal de la Devesa (fig. 23).

Pasamos primero un sinclinal en cuyo fondo aparece el maestrichtense (1); atravesamos después un conjunto de

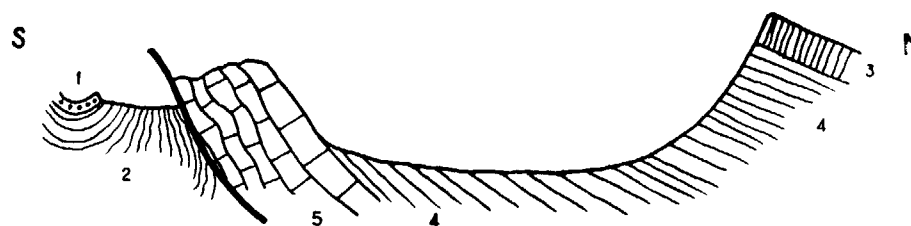


Fig. 23.

margas senonenses estrujadísimas y violentamente comprimidas, que llegan a estar volcadas junto a una falla cabalgante (2). Estos elementos aun pertenecen a la serie de Turp-Aubens. Estamos junto al gran anticlinal de Boixols-Montanisell, volcado al Sur, roto y cabalgante. Todo el flanco meridional ha desaparecido en la rotura y, rebasada ésta, encontramos unas calizas (5), también muy trituradas y agrietadas, de color gris con zonas muy oscuras y fétidas, algo arenosas, que contienen *Orbitolina*. Estas calizas ya pertenecen a la serie de Prada-San Juan. Al alejar-

nos de la cobijadura, las calizas van presentándose más sanas y enteras, con su estratificación más regular y marcada. Estas calizas se prolongan tanto al Este como al Oeste en largas corridas, pero los espesores visibles son muy variables según su espesor esté más o menos afectado por la cabalgadura. Hacia el Este aparecen, además, diversos tramos liásicos. Las calizas corresponderían a las de la hoz al norte de Orgañá, pero aquí evidentemente con espesor mucho más reducido; corresponderían también a las calizas aptenses, estériles, de la base del cretáceo de las sierras del Turp y Aubens. Su aspecto, salvo las escasas *Orbitolina* es muy parecido.

Empiezan a pasar a margas (4), y lo hacen gradual pero rápidamente, constituyéndose en margas grises dispuestas en bancos finos y bien estratificados: es la extensa corrida de margas que con gran uniformidad y regularidad se extienden por Boixols al Oeste, y Montanisell al Este, pasando por debajo de Santa Fe, donde fué estudiada con tanto detalle por Astre, o sea el conjunto de margas aptenses-albenses de la serie de Santa Fe de Orgañá, pero aquí no hemos encontrado fósiles.

Insistimos en que el espesor de las calizas urgo-aptenses, que tan enorme era al norte de Orgañá, viene aquí ya muy reducido y guarda proporcionalidad con el que presenta más al Sur, en Aubens y Turp, pero este conjunto de margas aptense-albense, constituye un caso digno de nota; aquí tiene un espesor muy considerable y es muy fosilífero y, en cambio, poco más al Sur, en Aubens y Turp, falta en absoluto; no hay traza de él.

El anticlinal de Montanisell hemos dicho varias veces que está volcado al Sur, y, a veces, cabalga en esta dirección. Cuando la fractura es intensa, como ocurre casi desde Boixols hasta cerca de Montanisell, aparece con frecuencia

el jurásico a lo largo de ella e incluso en una localidad aparece el keuper.

Conocida ya por estas descripciones, la serie tipo de Santa Fe, vamos a señalar sus variantes y características en otras zonas.

### A. Keuper

Aparece esta formación en un diminuto afloramiento de muy pocos metros de extensión, casi junto al río Segre al NE. de Coll de Nargó. Es una inserción de tipo perforante y está rodeada totalmente por el aptense. Su aspecto, inconfundible, es el de margas rosado-vinosas con yesos abigarrados. Este afloramiento ya fué señalado por Dalloni.

### B. Liásico

Donde mejor hemos visto su estructura es en un barranco que baja desde las estribaciones de la Sierra de San Juan, cortando el flanco meridional del anticlinal de Montanisell y que, unido con otros varios, constituye el río de Sellent (fig. 24).

Bajo las margas aptenses, dispuestas con gran regularidad, hay unas bancadas de calizas fétidas, grises oscuras, muy trastornadas, que corresponderían a las tantas veces citadas del urgoniense. Bajo ellas aparecen unas margas grises con *Gryphaea* y *Ammonites* y todavía debajo un banco de calizas arenáceas gris y amarillentas con *Pecten*, *Ammonites*, *Belemnites*, *Terebratula*, *Rhynchonella*, *Pentacrinus*, etcétera.

Están en contacto, por falla cabalgante, con margas senonenses verticales y muy estrujadas y trituradas.

Tanto las calizas aptenses como el conjunto liásico representarían un espesor muy pequeño, pero es probable

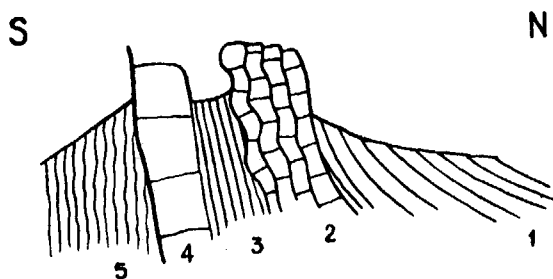


Fig. 24.

5. Margas senonenses.
4. Calizas arenosas con Belemnites.
3. Margas con Gryphea.
2. Calizas fétidas urgonianas.
1. Margas aptenses-albenses.

que esté reducido tectónicamente, sobre todo el de las calizas aptenses, en medida muy considerable.

De lejos hemos visto y marcado estas capas en otros sitios, por ejemplo al norte de Sellent. Vidal señala allí capas con fósiles del liásico medio, descansando sobre calizas pardas, negruzcas y ocráceas con restos de *Encrinurus* y algunos lechos margosos.

### C. Aptense (Urgo-aptense)

Ya hemos dicho que la base del cretáceo está constituida por calizas grises urgo-aptenses, fétidas y oscuras a veces (bajada a Boixols y torrentera de Sellent).

Las que se ven desde Boixols hasta la Montaña de Nargó forman parte del flanco norte del anticlinal y, en general, aparecen muy trastornadas y muy variables en sus espesores, reducidos tectónicamente. En la Montaña de Nargó el anticlinal aparece volcado al Sur, pero entero, y cierra en calizas aptenses.

Más al Este, al otro lado del Segre, el anticlinal es muy claramente visible y perfectamente marcado, a pesar de que las capas están trastornadas e intensamente comprimidas. Sigue cerrando en las calizas aptenses. El anticlinal es aún netamente vergente al Sur, pero ya no está volcado.

Las calizas aptenses son allí claramente visibles, como calizas grises que hacia su parte alta son ya francamente margosas, aunque aun muy compactas, en gruesos bancos, o más bien en masas. No se ve claramente la estratificación, pero sí se aprecia que están muy comprimidas. Un lechito margoso intercalado, y extraordinariamente laminado, está cuajado de *Orbitolina* e impregnado de asfaltos. Poco más al Sur aparecen ya las margas aptenses.

Forman aquéllas en esta ribera izquierda del Segre una inmensa mole caliza que se sigue con la vista hasta el pico Galliner. Al pie de ella hemos cogido, en las margas aptenses, fragmentos de calizas, procedentes, sin duda, de aquella masa, con *Requienia* y *Rhynchonella*. Allí, donde este gran anticlinal aptense se encuentra aún entero, aunque esté volcado y cabalgante sobre el garumnense, hallamos en el flanco meridional las mismas margas grises de la famosa serie de Santa Fe, en larguísimas y uniformes corridas volcadas al Sur y comprimidas, aunque generalmente no tanto que se borre la estratificación, que queda, casi siempre, bien marcada.

Son escasamente fosilíferas. Sin embargo, su edad ap-

tense viene muy bien determinada, tanto por los fósiles como por su disposición tectónica. Es una larga corrida que nace casi inmediatamente al este de Sellent, donde viene interrumpida por una falla, y sigue con espesores aparentes muy variables, y muy reducidos tectónicamente, hasta el SE. de Montanisell, donde ensancha considerablemente; cruza el Segre inmediatamente al norte de Coll de Nargó, estrechando mucho por causa de las presiones; ensancha a la altura de Canelles y constituye todo el fondo del amplio valle del río de Canelles, hasta perderse de vista por el Este a la altura del pico Galliner.

Por el Norte, están en contacto normal con las calizas urgonienses; por el Sur, en contacto muy anormal con el garumnense. Lo notable es que aparentemente, en la mayor parte de los sitios, estarían concordantes con él.

A primera vista nos parecieron formar una serie normal con el cretáceo superior y pensamos que pudieran ser eocenas. La falta absoluta de *Nummulites* nos puso en guardia, hasta que después de penosísima y cuidadosa busca pudimos reunir suficiente cantidad de ejemplares determinantes de su edad aptense.

Son calizas margosas en hiladas finas, y margas grises más o menos comprimidas o bien margas grises o azules, sueltas, pizarreñas, hojosas.

En la estrecha faja, al sur de Montanisell, encontramos *Plicatula arachne*? Coq.

En el corte del arroyo de Calles, de Montanisell, la disposición era la siguiente (fig. 25):

1. Calizas urgo-aptenses, en masa, con grandes *Toucasia* y abundantes *Orbitolina conoidea-discoidea* GRASS.
2. Calizas margosas, en el contacto, con *Orbitolina conoidea-discoidea* GRASS; luego margas grises muy finamente estratificadas con *Belemnites minimus* LIST.

3. Margas más calizas con *Orbitolina conoidea-discoidea* GRASS.
  4. Capas con *Ostrea* y *Rhynchonella*, *Nerinea chloris* Coq., *Trigonia aliformis* PARK., *Lima cottaldina* GRASS, *Terebratula* sp., *Rhynchonella* sp., *Pentacrinus neocomensis*? Lor, *Espongiarios*.
  5. Margas casi estériles con *Plicatula placunea* LAMK., y algún equínido.
  6. Margas azules con *Lima cottaldina* D'ORB., *Belemnites minimus* LIST., *Pentacrinus* sp.
- Falla cobijante.*
7. Calizas del garumnense, en general, en concordancia aparente.
  8. Conglomerados garumnenses.
  9. Margas azules del garumnense con *Lychnus*.

Más al Este, hemos vuelto a encontrar en las margas algún ejemplar de *Plicatula placunea* LAMK.

Al este del Segre continúan las margas, pero nos ha

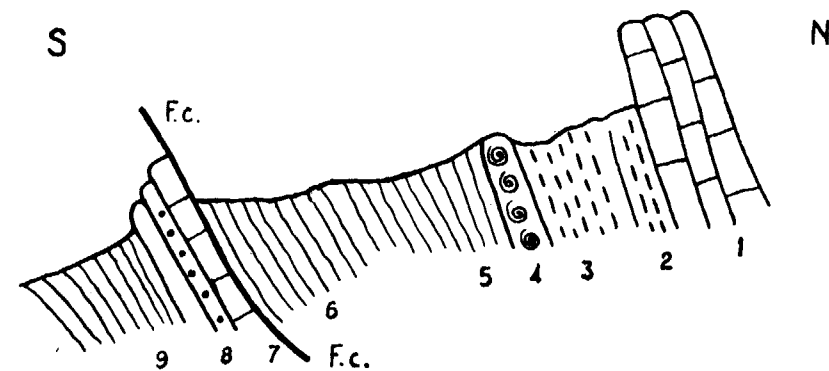


Fig. 25.

sido imposible encontrar en ellas fósil alguno, si exceptuamos las *Orbitolina* que están en las capas calizo-margosas del contacto con las calizas urgo-aptenses.

### D. Senonense

Al oeste de la falla en que terminan por el Oeste las margas aptenses, hay otras muy parecidas que ocupan exactamente la misma posición con respecto al macizo aptense y que parecían su continuación. Sin embargo, son senonenses, como lo demuestran los abundantes y magníficos equínidos que hemos recogido.

Estas margas, pues, están en contacto anormal con el aptense y cobijado por él. No forman parte de la serie de Santa Fe, sino de la de Aubens-Coscollet, y salen en forma normal bajo el maestrichtense y garumnense. Por este motivo se estudiaron junto con la serie de Aubens y Turp.

Contienen muy buenos ejemplares de *Micraster larteti* MUM.-CHALM. y *Micraster coranguinum* AGASS.

Ya hemos visto cómo Vidal encontró y demostró la presencia del cretáceo superior (cenomanense-senonense) bajo la ermita de Santa Fe y en toda la serie.

### E. Garumnense

Desde lo alto de las sierras del Turp y Aubens, vimos en repetidas ocasiones que, en la parte oriental de la Sierra de San Juan, hacia los vértices de Espías y Peña Roja, había unas formaciones rojas cuyo aspecto y posición parecían corresponder al garumnense y, como tal, lo señalamos en el mapa.




Fig. 26. - SERIE DE OLIANA: Fotografía tomada desde dentro del anticlinal, en dirección al NE. Es visible, en el mismo centro de la fotografía, el poblado de Valldany. Se ve el perfecto cierre cupuliforme al NE, muy bien marcado por los conglomerados oligocenos en crestón. Estos se ven también a la derecha, pero su masa y relieve son mucho menos acusados y es la expresión clara de su acunamiento en dirección Sur.

Fig. 27. TECTÓNICA: El barranco de la Mora Condal, visto desde el flanco septentrional del anticlinal de Oliana, cuyos conglomerados son perfectamente visibles. Las edificaciones a la izquierda pertenecen a la Casa de Erdes. La cima que se alza tras ella es el Tosal Creu. La fotografía representa, en casi su totalidad, el oligoceno, desde la base hasta la culminación, pues unas ventanas de erosión al fondo, que muestran calizas cocenas bajo el conglomerado superior, no son visibles en la fotografía. Es en este conjunto donde se aprecia perfectamente la discordancia progresiva entre las capas basales de conglomerados, las intermedias de facies normal y las altas, de nuevo en conglomerados de mucha menor inclinación.



*Fig. 26.—SERIE DE OLIANA: Fotografía tomada desde dentro del anticlinal, en dirección al NE. Es visible, en el mismo centro de la fotografía, el poblado de Valldany. Se ve el perfecto cierre cupuliforme al NE., muy bien marcado por los conglomerados oligocenos en crestón. Estos se ven también a la derecha, pero su masa y relieve son mucho menos acusados y es la expresión clara de su acuñamiento en dirección Sur.*

*Fig. 27.—TECTÓNICA: El barranco de la Mora Condal, visto desde el flanco septentrional del anticlinal de Oliana, cuyos conglomerados son perfectamente visibles. Las edificaciones a la izquierda pertenecen a la Casa de Eroles. La cima que se alza tras ella es el Tosal Creu. La fotografía representa, en casi su totalidad, el oligoceno, desde la base hasta la culminación, pues unas ventanas de erosión al fondo, que muestran calizas eocenas bajo el conglomerado superior, no son visibles en la fotografía. Es en este conjunto donde se aprecia perfectamente la discordancia progresiva entre las capas basales de conglomerados, las intermedias de facies normal y las altas, de nuevo en conglomerados de mucha menor inclinación.*





Fig. 28.—SERIE DE PERAMOLA: La Sierra de Peramola vista desde Oliana, mirando en dirección al NO. La llanada está en cuaternario, sobre las margas y areniscas del eoceno superior (3). Sobre éstas se apoyan los conglomerados basales del oligoceno (2), que están cabalgados por la serie de Peramola, constituida por un anticlinal secundario volcado al Sur y cabalgante, mostrando en su eje el liásico (5) y en sus flancos el cretáceo (4). Por encima reposan discordantes y horizontales los conglomerados del oligoceno superior de San Honorato. A la derecha de la fotografía,

por el boquete abierto por el paso del Segre, se ve al fondo la Sierra de Aubens, y vemos, de frente, la escama de Casa Jou, constituida por una faja eocena (3) y una banda de cretáceo superior, de la que es sólo visible un retazo (4). Por encima tenemos el oligoceno superior de Casa Llac (1), apoyado en el flanco de la Sierra de Aubens, de la que vemos el senonense superior de la serie (4), culminando en el Coscollet.

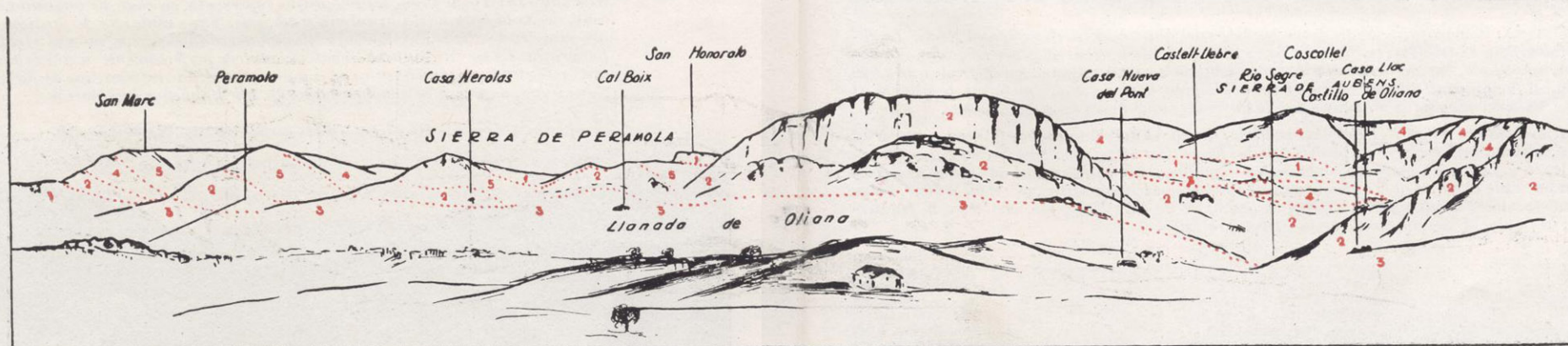




Fig. 29.—TECTÓNICA: El barranco de la Mora Condal visto desde el Este hacia el Oeste. A la izquierda los conglomerados de base del oligoceno, constituyendo el flanco septentrional del anticlinal de Oliana. En el centro la facies normal oligocena, que hacia el fondo está también parcialmente representada por conglomerados en tránsito lateral. A la derecha los conglomerados superiores del oligoceno, que al fondo culminan en Tosal Creu. La fotografía está tomada desde las tierras de Can Serra Seca, en los conglomerados superiores. En último término, a la izquierda, la escama de la Sierra de Peramola, en medio la pequeña escama de Casa Jou, a la derecha las moles calizas y margosas de la Sierra de Aubens.

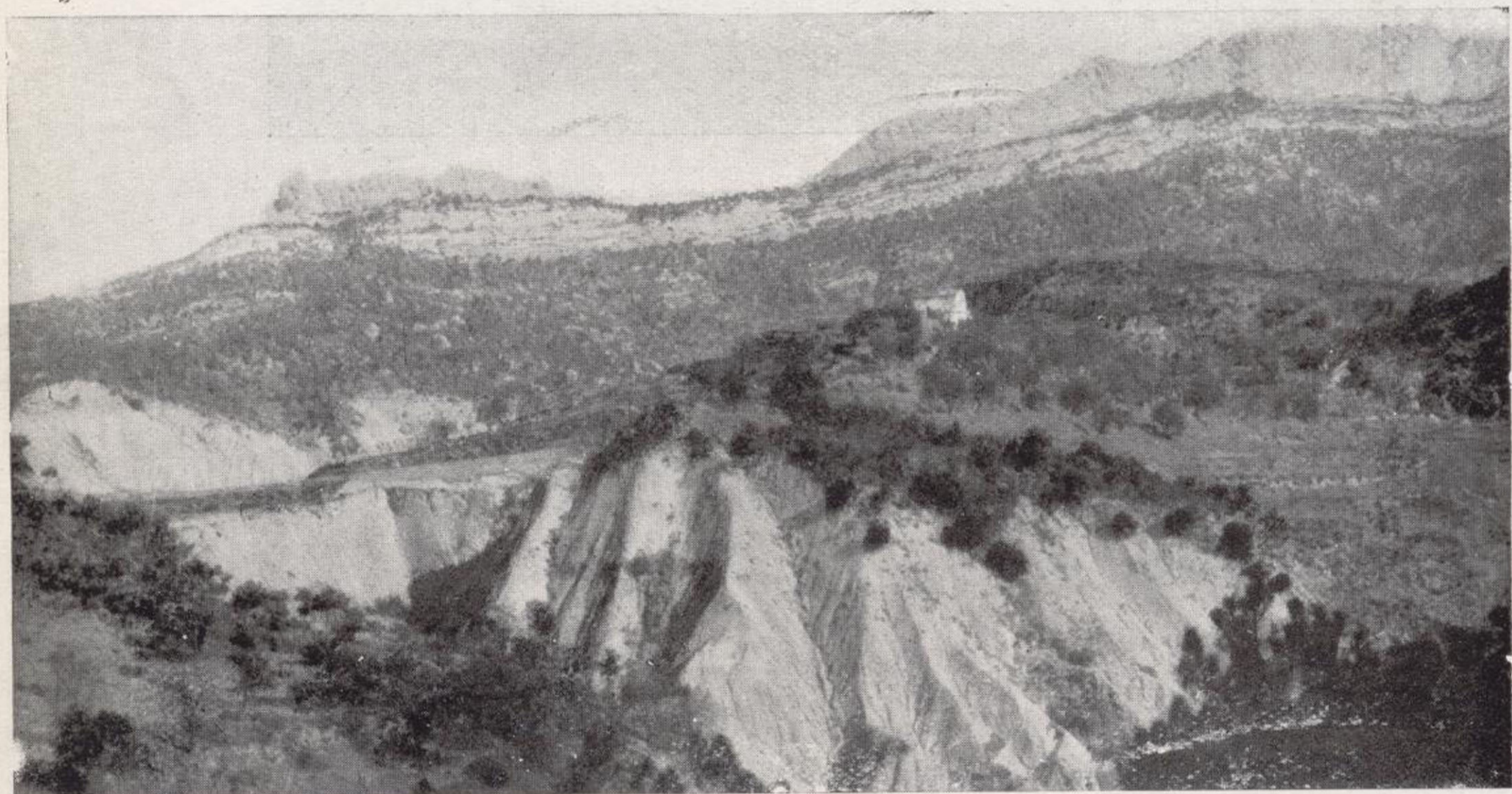


Fig. 30.—SERIE DE OLIANA: Fotografía tomada desde el centro del anticlinal, en dirección al Norte. La casa visible en la fotografía es Cal Torres. La collada es la Collada de Portell. En primero y segundo término las margas lutecienses, que no llegaron a ser completamente atravesadas después de más de 2.500 metros de sondeo. Al fondo los conglomerados de base del oligoceno, en crestón, con fuerte pendiente al Norte. Entre los conglomerados y las margas están las areniscas del auversense-bartonense.

Fig. 31.—TECTÓNICA: Al fondo la mitad NE. del anticlinal de Oliana; se aprecian ambos flancos, septentrional y meridional, y el magnífico cierre en media cúpula. En primer término la Sierra de Peramola, con las calizas cretáceas y jurásicas que la componen, cabalgantes sobre el anticlinal de Oliana. La fotografía está tomada desde el borde de los conglomerados oligocenos transgresivos, en Casa Mollesi. Estos conglomerados horizontales se presentan en masa en las moles de San Honorato, visibles a la izquierda. Por encima, al fondo, se ven las cimas de la Sierra del Turp.

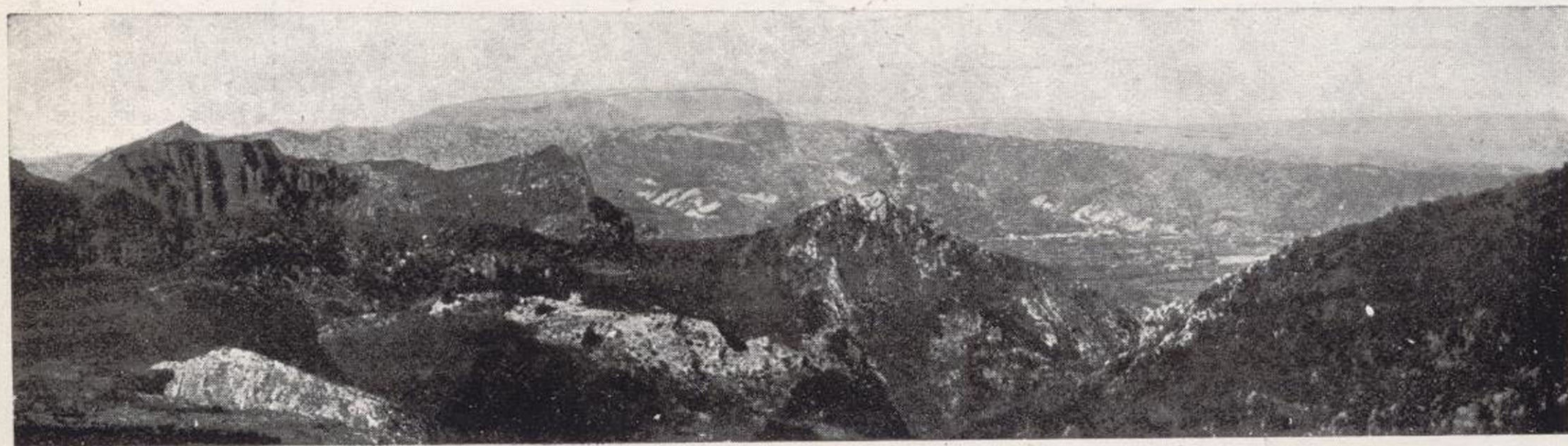






Fig. 29. —TECTÓNICA: El barranco de la Mora Condal visto desde el Este hacia el Oeste. A la izquierda los conglomerados de base del oligoceno, constituyendo el flanco septentrional del anticlinal de Oliana. En el centro la facies normal oligocena, que hacia el fondo está también parcialmente representada por conglomerados en tránsito lateral. A la derecha los conglomerados superiores del oligoceno, que al fondo culminan en Tosal Creu. La fotografía está tomada desde las tierras de Can Serra Seca, en los conglomerados superiores. En último término, a la izquierda, la escama de la Sierra de Peramola, en medio la pequeña escama de Casa Jou, a la derecha las moles calizas y margosas de la Sierra de Aubens.



Fig. 30. —SERIE DE OLIANA: Fotografía tomada desde el centro del anticlinal, en dirección al Norte. La casa visible en la fotografía es Cal Torres. La collada es la Collada de Portell. En primero y segundo término las margas lutecienses, que no llegaron a ser completamente atravesadas después de más de 2.500 metros de sondeo. Al fondo los conglomerados de base del oligoceno, en crestón, con fuerte pendiente al Norte. Entre los conglomerados y las margas están las areniscas del auversense-bartonense.

Fig. 31. —TECTÓNICA: Al fondo la mitad NE. del anticlinal de Oliana; se aprecian ambos flancos, septentrional y meridional, y el magnífico cierre en media cúpula. En primer término la Sierra de Peramola, con las calizas cretáceas y jurásicas que la componen, cabalgantes sobre el anticlinal de Oliana. La fotografía está tomada desde el borde de los conglomerados oligocenos transgresivos, en Casa Mollesí. Estos conglomerados horizontales se presentan en masa en las moles de San Honorato, visibles a la izquierda. Por encima, al fondo, se ven las cimas de la Sierra del Turp.



### Espesores de estas formaciones

Los espesores que vamos a expresar a continuación son los máximos apreciados en cada tramo. Como en el caso de la serie anterior, tampoco coinciden los máximos en la misma vertical, por lo que no pueden sumarse para obtener el espesor conjunto.

#### Espesores máximos:

Garumnense.....	Está incompleto, se desconoce.
Senonense-Turonense.	350 metros.
Albense-Aptense .....	150 m. en la zona septentrional (Sierra de Prada). Se reduce rápidamente hacia el Sur.
Urgoniense.....	900 metros.
Liásico.....	40-50 m. de dolomías; 60-100 metros de lías.
Keuper.....	200 metros.
Muschelkalk.....	40-60 metros.
Permotrias .....	20 m. de rot y 600-700 m. permotrias basal.

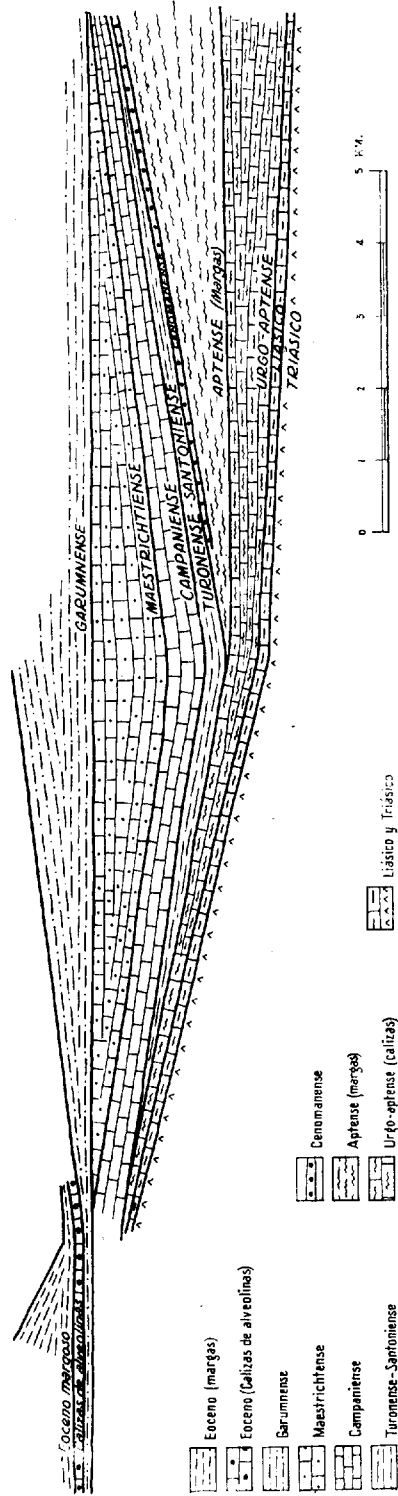


Fig. 32.—Comparación de las diversas series estratigráficas referidas al garumense y a sus distancias y espesores actuales (por J. M.<sup>a</sup> Ríos).

### III. OTRAS UNIDADES TECTÓNICAS Y SUS SERIES ESTRATIGRÁFICAS

El objeto principal de este trabajo consiste en mostrar un análisis estratigráfico y tectónico de las unidades tectónicas que hemos denominado de las sierras de Turp y Aubens y de las de Prada y San Juan. Pero quedaría incompleto y malogrado si no intentamos obtener de sus resultados el mayor número posible de consecuencias.

Hasta ahora hemos expuesto una serie de hechos concretos como resultado de aquel análisis, pero se trata aquí de sintetizarlos procurando llegar a un cuadro paleogeográfico y de la historia de su desarrollo, que constituye siempre la meta o culminación de todo análisis geológico.

Para lograrlo hemos de exponer aún los datos fundamentales correspondientes a las unidades geológicas que constituyen la prolongación hacia el Sur de las ya analizadas. Si las vamos a mostrar con menos detalle es debido a que ya han sido descritas en los dos trabajos que hemos dedicado hasta ahora a la región ilderense (1).

(1) J. M.<sup>a</sup> Ríos, A. Almela y J. Garrido: «Contribución al conocimiento de la zona sub-pirenaica catalana».—1.<sup>a</sup> parte. Bol. Inst. Geol. y Minero de España. Tomo LVI, 1943.

A. Almela y J. M.<sup>a</sup> Ríos: «Explicación al Mapa Geológico de la provincia de Lérida». Inst. Geol. y Min. de España, 1947.

Hemos mostrado que la serie de Prada-San Juan (fig. 1), está constituida como un sinclinal cuyo borde meridional está plegado anticlinalmente, y por medio de este pliegue, que en general está roto y fallado, cabalga y cobija generalmente a la serie más meridional del Turp y Aubens.

Ésta no es, en realidad, sino la prolongación de aquélla, pero la zona de empalme y conexión de ambas series, correspondiente al flanco meridional del pliegue mencionado, ha desaparecido bajo el cabalgamiento.

La serie de Turp y Aubens es, si se examina en gran conjunto, otro dispositivo esencialmente análogo al de la Sierra de San Juan, es decir, sinclinal y cabalgante al Sur mediante pliegue-falla, pero debido a su diferente disposición y al distinto desarrollo de sus elementos, esa analogía no es netamente patente.

A su vez, la unidad de Turp-Aubens cabalga el pliegue-falla de la Sierra de Peramola, pero entrambas queda pellizcada una interesante y diminuta escama que vamos a llamar de Casa Jou.

La Sierra de Peramola cabalga a su vez al anticlinal de Oliana, cuya serie estratigráfica apenas puede ser asimilada a las anteriores, ya que los elementos que constituyen tan potentes masas en éstas no afloran en aquélla, pero como constituye ya el margen de la depresión oligocena sobre la que vergen todos los elementos antes mencionados, su consideración es de gran interés.

Queríamos subrayar este interés diciendo que estriba en ser una serie autóctona, puesto que constituye un pliegue apenas vergente y normalmente enraigado dentro de la gran depresión oligocena de la depresión del Ebro, pero ello llevaría a sugerir un dejo de aloctonía a las otras series, de que carecen en absoluto, ya que si bien están parcialmente desprendidas y han avanzado hacia el Sur (por la

parte central de su frente de plegamiento), enraigan normalmente en sus extremos, y precisamente lo que nos proponemos es insistir sobre este carácter estratigráficamente unitario y tectónicamente autóctono, es decir, surgido de un mismo sinclinal, de todo el conjunto.

### A. Unidad de Casa Jou

Nada nuevo podemos añadir a su conocimiento después de la época en que la estudiamos con A. Almela y J. Garrido. Sólo diremos que un estudio detallado se ofrece como muy apasionante por los problemas, al parecer complicados, que plantea y que nos proponemos realizar en breve con A. Almela para la ejecución de la hoja de Oliana, del Mapa Nacional a escala 1 : 50.000.

Rebasado el barranco de Cotarroig, como a 200 metros escasos del Hostal de la Penella, bajo el liásico y triásico que constituyen la base de la serie de Aubens (figuras 18 y 28), aparecen de nuevo las calizas cretáceas que paralelamente a la base liásica del Coscollet y bajo ella, suben ladera arriba hacia el SSO. por Casa Jou y Cal Salvador hasta Cal Juncás, para desaparecer, poco más allá, soterradas bajo las masas oligocenas transgresivas del Saltán de Gramaneras.

Como decíamos, es zona que, para la complicación que aparenta, está escasamente recorrida, y su estudio presenta dificultades de varios órdenes.

Lo que se ve de esta serie está compuesto por calizas y margas del cretáceo superior, ya que presentan *Hippurites*; por retazos garumnenses, y, lo que es más interesante, por una faja eocena (Contribución al conocimiento de la zona sub-pirenaica catalana, pág. 37).

Las series de Prada-San Juan y de Aubens-Turp no presentan el eoceno. La parte visible de la serie de Oliana es toda más alta que el eoceno inferior. Y ésta nos liga, en cierto modo, ambas series.

En este eoceno hemos encontrado *Alveolina*, *Assilina leymeriei* d'ARCH., *Operculina douvillei* DONC., y diversos *Nummulites* granulosos de tamaño medio, aparte de restos de *Cidaris*, *Serpula*, *Ostrea*, etcétera.

### B. Unidad de la Sierra de Peramola

No vamos tampoco a detallar esta unidad, que ya fué descrita en aquel trabajo. Recordaremos solamente que está constituida por un liásico fosilífero de margas y calizas idéntico al de Turp y Aubens (fig. 28), y de un cretáceo superior mucho más sencillo, al parecer, que el de éstas, y consiste, esencialmente, en calizas análogas a las del tramo campaniense de Roca Coll, pero que representan todo el cretáceo superior con espesores mucho más reducidos.

Por su complicación tectónica como pliegue cabalgante y también por estar muy oculta por el oligoceno, esta sierra no permite formar una idea totalmente clara de su serie. De su flanco septentrional, anegado por el oligoceno transgresivo (figs. 17, 28 y 31), no vemos más que parte, y ni siquiera sabemos qué parte, puesto que el garumnense, que tan preciosa información podría suministrar, no aflora o no ha sido encontrado.

### C. Unidad del anticlinal de Oliana

La unidad de Peramola cabalga sobre el anticlinal de Oliana (figs. 16, 26, 30 y 31), verdadero ojal que, en un pellizco levantado en el oligoceno por el empuje hacia el Sur de las unidades tectónicas descritas, nos muestra la parte alta de la serie eocena.

El oligoceno basal, consistente en poderosos bancos de conglomerados, que se extinguen rápidamente en cuña, reposa sobre capas de margas y areniscas que contienen la abundante fauna bartoniense que hemos descrito en un trabajo anterior (1). Bajo ellas vienen unas inexpresivas margas azules del luteciense-auversiense.

La sonda ha atravesado casi 2.500 m. de estas margas sin alcanzar el fondo, pero, posiblemente, este espesor algo inesperado, se debe, en parte, a acumulación anormal, secundaria, originada por causas tectónicas.

(1) A. Almela y J. M.<sup>a</sup> Ríos: «Una nueva especie de *Discocyclina* del eoceno catalán». —N. y C. del Inst. Geol. y Minero de España, número 10.

#### **IV. COMPARACIÓN DE LAS DIVERSAS UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS**

Si comparamos entre sí estas diversas series estratigráficas, que hemos representado esquemáticamente en la fig. 32, observamos que tienen, entre ellas, notables diferencias, las cuales han planteado, desde hace tiempo, un problema geológico muy discutido, que tiene, para nosotros, un gran interés.

La serie de San Juan-Prada, es, de todas ellas, la más completa y normal en su disposición. Además descansa al Norte en forma enteramente normal sobre un yacente paleozoico (fig. 1).

El triásico debe ser más o menos parecido en todas las unidades descritas, aunque en las meridionales, y por razones tectónicas, sólo podemos ver el keuper y en forma muy anormal y trastornada.

El cretáceo inferior, que es completísimo y potentísimo y superior a los 1.500 m. en la serie de San Juan-Prada, donde abarca desde el urgoniense hasta el albense, parecería estar representado en la de Aubens-Turp por unos 400 m., como máximo, de calizas estériles, que corresponderían a los 900 m. de calizas urgonienses de San Juan-Prada. Faltaría por completo toda la serie margosa (unos 1.500 m.), que abarca el aptense medio y el albense. Y

más al Sur, en la unidad de Peramola, el cretáceo inferior no ha sido señalado; faltaría por completo.

Falta, igualmente, el cretáceo inferior en toda la serie cretácea de Cambrils-Llinás-Oden, que llega hasta San Lorenzo de Morunys. En toda la zona meridional el senonense se apoya, por consiguiente, directamente sobre el liásico.

Por otra parte, el potentísimo espesor del cretáceo superior de Aubens-Turp (superior a los 2.000 m.), no encuentra paralelo ni en la serie de San Juan-Prada (unos 1.000 m.) ni en la Sierra de Peramola, donde, si bien no es visible por completo, se adivina mucho más reducido que aquél.

Para explicar estas diferencias, muy marcadas para series tan contiguas, se supuso que alguna de ellas era alóctona y procedía de arrastres lejanos. Esta teoría está ya desechada, y hace tiempo que se admite que en el Pirineo no hay grandes arrastres ni mantos de corrimiento. Ahora que la cartografía geológica de la región es suficientemente completa se ve que todas las series están perfectamente enraizadas y ancladas por sus extremos en el *substratum*.

La variación corresponde, por un lado, a la variación de espesores sedimentarios en una depresión geosinclinal de muy acusado y profundo hundimiento, una verdadera fosa (fig. 30), y por otro, a la traslación, hacia el Sur, de este eje geosinclinal a lo largo de los tiempos secundarios y terciarios (fig. 34), de modo que en los tiempos del cretáceo inferior estaba situada a la altura de la serie de Prada; en los del cretáceo superior, a la altura de la serie de Turp y Aubens; en los eocenos a la altura de la serie de Oliana o más al Sur, lo que es casi suficiente para explicar la magnitud de espesores allí encontrados; en la época oligocena el eje geosinclinal se encontraba en el centro de

la depresión del Ebro, con espesores sedimentarios quizá superiores a los 3.000 metros.

Esta traslación del eje hacia el Sur viene acusada no solamente por las variaciones de espesores y las desapariciones de tramos, sino por las variaciones de fañes de los sedimentos.

## V. DISPOSICIÓN TECTÓNICA

(Fig. 1 y lám. III)

Partiendo del paleozoico de la cuenca de Seo de Urgel y en dirección al Sur, vamos a describir los rasgos tectónicos más importantes. Muy ligeramente la parte más septentrional y con algún detalle la situada al sur de Orgañá.

### 1. Zona al norte de Orgañá y sinclinal de la serie de Santa Fe.

El paleozoico culmina en una serie carbonífera que contiene capas de carbón explotadas en las minas de Adrall. Sobre ella viene una potente serie triásica (que podemos considerar ya perteneciente a la serie de Prada-San Juan), dispuesta allí con gran uniformidad y constituida por permo-bunt de areniscas y conglomerados rojos, muschelkalk y keuper. Este último, termina a la altura de Hostalets. Vienen luego los conjuntos de dolomías réticas, liásico y jurásico, con su tránsito mal determinado al cretáceo inferior, que hemos descrito en el 2.º apartado de este trabajo. La disposición es todavía bastante regular y uniforme (pendientes medias de 34° S.), pero al adentrarnos más en las gargantas del Segre, aguas arriba de Orgañá, vamos encontrando unas zonas de trastornos cada vez más intensos, hasta que, en las proximidades de la gran

falla o fractura de Hostalnou, están las capas enormemente trituradas. Pasada la falla, estamos de nuevo en la base del cretáceo inferior y las capas están violentísimamente trastornadas, pero algo más al Sur, las capas, aun muy pendientes (50°-60° S.,) empiezan a ordenarse y alcanzan enseguida una gran regularidad y uniformidad que las caracteriza hasta que, al salir de las hoces, llegamos a las margas aptenses de Orgañá.

Esta serie (de Prada-San Juan) se desarrolla luego al SO. de Orgañá, como un magnífico sinclinal; en su eje, de dirección E.-O., se nos ofrece la serie parcial descrita por Astre con la denominación de serie de Santa Fe. Todo el eje sinclinal se hunde hacia el Oeste, de modo que en esa dirección van apareciendo en su centro tramos cada vez más altos, y levanta hacia el Este muy rápidamente, cerrando a modo de cubeta, casi en la misma línea del Segre. En la ribera izquierda siguen, por consiguiente, levantando sus masas las calizas urgo-aptenses.

Al sur de este sinclinal hay un anticlinal de violenta tectónica, el anticlinal de Boixols-Montanisell.

## 2. Anticlinal de Boixols-Montanisell (fig. 33).

Por su parte oeste, inmediatamente al oeste de Boixols, el anticlinal es asimétrico, y presenta una vergencia no muy marcada al Sur, pero aun se ofrece entero. En Boixols está ya volcado y fallado; el flanco Sur ha desaparecido en la falla. El río de Puyals, al sur de Boixols, debe de seguir la falla transversal que separa la parte oeste o entera, del anticlinal, de la parte al este de Boixols, que afecta el carácter de pliegue-falla.

Al este de Boixols, en Sept-Comelles, aparece el liásico correspondiente al flanco Norte; el flanco meridional ha desaparecido, o sólo quedan de él restos muy laminados.

## ESQUEMA DE LA DISPOSICIÓN TECTÓNICA DE LOS PLIEGUES N LA REGIÓN DE COLL DE NARGÓ (CROQUIS LIBRES, SIN ESCALA)

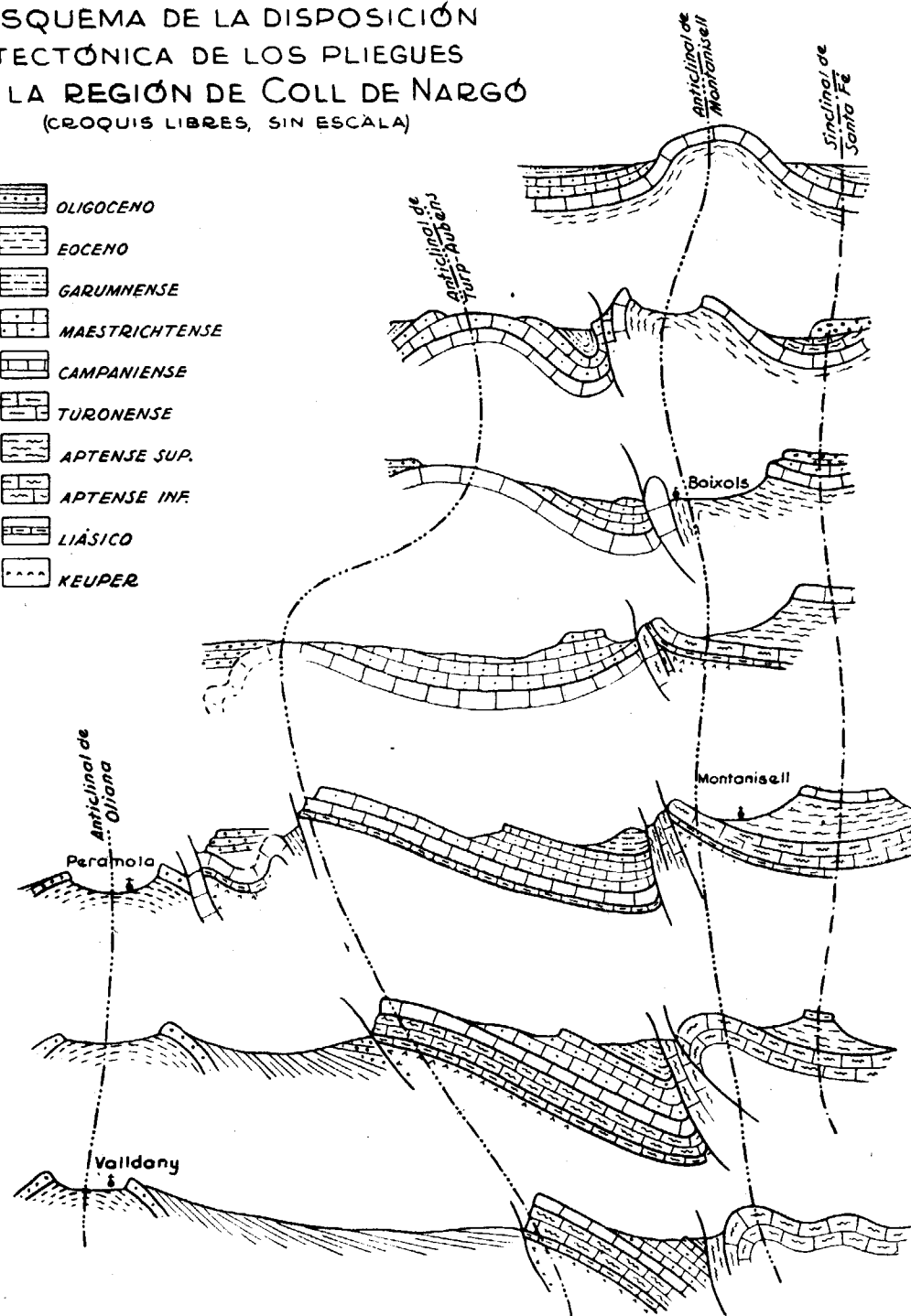
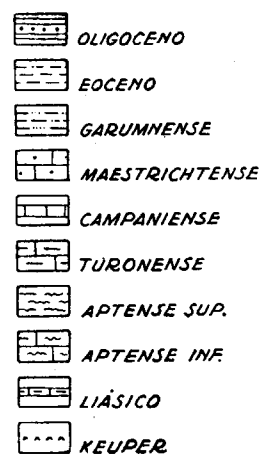


Fig. 33.



Al oeste de Sellent, hay una fractura transversal que separa una parte occidental del anticlinal, cuyo flanco meridional está laminado y desaparece casi por entero en la falla, de una parte oriental donde el anticlinal está volcado y muy violentamente arrastrado al Sur, pero cuyo cabalgamiento no va acompañado por estiramiento. El flanco meridional subsiste como unidad continua e ininterrumpida, aunque con sus espesores muy reducidos por las laminaciones. En la charnela desmantelada aparece el liásico, e incluso el triásico (keuper), en Montanisell.

En la Montaña de Nargó el anticlinal está volcado, y cabalga al Sur, pero se conserva mucho más entero. Al llegar al Segre el anticlinal es algo vergente al Sur, y muestra señales violentas de empuje, pero no está ya volcado. Continúa hacia el Este, y termina en forma confusa, que debe corresponder a una flexura más bien que a un anticlinal.

Así pues, este anticlinal enraigado normalmente por ambos extremos cabalga hacia el Sur, en toda su longitud visible en esta zona. La línea de cabalgamiento, no muy irregular ni sinuosa, va de Este a Oeste. El cabalgamiento se verifica sobre la serie o elemento Aubens-Turp.

### 3. Sinclinal de Sellent (o Sept-Comelles) y anticlinal de Aubens-Turp (fig. 33).

Este gran elemento o unidad tectónica consiste en un gran pliegue, volcado al Sur, fallado y cabalgante al Sur; una repetición, a escala aun mayor, del anticlinal de Montanisell. Su flanco Norte es una inmensa y amplísima disposición isoclinal constituida por todos los tramos del cretáceo y coronada por el garumnense, pero que hacia el Oeste se desarrolla francamente como sinclinal, y donde aparece como isoclinal no es sino por estiramiento o

por ocultamiento bajo la cobijadura de uno de los flancos de aquél.

A ambos anticlinales, de Montanisell y de Aubens, los separaba precisamente este sinclinal, pero los violentísimos empujes lo han estirado y ocultado en casi todas sus partes, convirtiéndolo en el cabalgamiento de que estamos hablando. El sinclinal sólo se conserva en la parte oeste, entre Sept-Comelles y Sellent. Al este de la fractura transversal de Sellent, el sinclinal desaparece eliminado por la falla cabalgante, y el anticlinal de Montanisell, más o menos entero, cabalga sobre el flanco norte del de Aubens.

Al este del Segre las circunstancias son idénticas. El anticlinal de Aubens-Turp enraiga por el Oeste en forma normal bajo el garumnense de la Conca de Tremp, donde cierra como una gran estructura periclinal.

El flanco norte del anticlinal Aubens-Turp constituye una inmensa tabla de uniforme inclinación compuesta por una potentísima y compleja serie estratigráfica que abarca del triásico al garumnense.

La dirección de este anticlinal es SO.-NE., cruzada con la directriz tectónica E.-O. de los elementos situados al N. Por este motivo, tramos cada vez más bajos van desapareciendo hacia el Este bajo la cobijadura. Al este de Boixols, el flanco Norte queda libre de cobijadura y entre aquél y ésta se conserva aún el sinclinal; al sur de Montanisell, el sinclinal ha desaparecido, y el anticlinal de este nombre cobija el garumnense del flanco Norte del de Aubens-Turp. Al este de Coll de Nargó, casi todo el garumnense, salvo, cosa curiosa, su parte superior, queda oculto en la cobijadura. Al este del Segre, sólo la parte superior del garumnense, trituradísima, se conserva; el resto desaparece en la cobijadura, el maestrichtense primero, y

luego otros tramos senonenses van siendo ocultados o llegan junto a ella.

El anticlinal de Aubens y Turp se resuelve en su parte oeste en una serie de repliegues (entre sur de Coll de Creus y sur de Coscollet); el principal, y alguno de los accesorios conservan entera su charnela, pero están volcados al Sur, cobijando el flanco meridional, que está estirado y roto. La fractura es oblicua con respecto al anticlinal, de modo que más al Este (sur de Roca Coll), la fractura alcanza ya la charnela del pliegue principal y el flanco meridional desaparece por entero en la cobijadura. Al este del Segre (Sierra del Turp), el flanco meridional está estirado, roto y no es visible, estando enteramente oculto por el avance hacia el SE. del flanco Norte.

#### 4. Fracturas transversales en los anticlinales.

Un elemento importante de esta tectónica es la aparición de importantes fracturas de desgarre de dirección NO.-SE.

Dos o tres, una de ellas de varios kilómetros de longitud, afectan la parte oeste del anticlinal de Montanisell, entre esta localidad y Boixols. Otra, importante por originar una discontinuidad estratigráfica que ha confundido a los geólogos, se presenta al este de Sellent. Y una serie de fracturitas rompen el garumnense entre el torrente de Montanisell y Canelles. Una de ellas pasa por el mismo pueblo de Coll de Nargó.

La serie Turp y Aubens está afectada también por estas fallas. Una, de gran longitud, pasa por Valldarqués y probablemente es la misma que destaca la cumbre del Coscollet por el Este. Otras más cortas se desarrollan al oeste de Roca Coll y de la collada del Turp.

Todas ellas parecen debidas a esfuerzos tangenciales

de cizallamiento. Las más importantes, o sea, las de los anticlinales de Montanisell y Aubens-Turp, deben ser consecuencia de los fenómenos originados por el cruzamiento de las dos direcciones tectónicas encontradas (E.-O. del anticlinal de Montanisell, SO.-NE. del de Aubens-Turp). Las de pequeña escala entre el arroyo de Montanisell y Canelles, por la diferente resistencia de las capas de conglomerados del garumnense, al empuje originado por el avance hacia el sur de las masas aptenses del anticlinal de Montanisell.

#### 5. Escamas de Casa Jou y de la Sierra de Peramola (figuras 18 y 28).

Uno de los repliegues locales formados en el flanco sur de Aubens, forma la escama de Casa Jou. Gran parte de este flanco meridional está sustraído a la observación por el oligoceno transgresivo.

Al sur de la cobijadura de Aubens-Turp hay de nuevo un anticlinal volcado, fallado y cabalgante al Sur, se trata de la unidad de la Sierra de Peramola.

Todo parece indicar que la unidad de Peramola es la prolongación oriental de los Montsechs. La verdadera continuidad no se puede establecer por estar aquella zona oculta bajo una potentísima masa de sedimentos oligocenos transgresivos, los cuales existen también de nuevo hacia el Este, dificultando el estudio de la prolongación oriental de la estructura de Peramola. Muy probablemente su terminación oriental, y, por ende, la de todos los Montsechs, sería el inmenso arco anticlinal de Aliñá, cobijado al Norte por la unidad de Turp-Aubens, y que se resuelve en la disposición semitabular de la Sierra de Odén y la más complicada de la Sierra de Pedraforca.

### 6. Anticlinal de Oliana.

Finalmente, tenemos el pliegue anticlinal de Oliana. El espesor insospechado de margas eocenas, casi de 2.500 metros, atravesadas por la sonda, induce, en principio, a pensar en una acumulación secundaria, de origen tectónico, como la que existe en St. Gaudens, al norte del Pirineo, y que describimos en nuestra reseña aparecida en la Memoria General del Instituto Geológico para 1946 (página 181). Allí la sonda atravesó, igualmente, espesores inesperados, y encontró una estructura profunda que no corresponde a la que es lógico esperar a juzgar por la geología y reconocimientos de superficie. El hecho de que allí se encontró una importante reserva de gas natural ha hecho que se reconozca muy intensamente por sondeos, de modo que se conoce muy bien su estructura profunda. En el caso de Oliana, y si tenemos en cuenta el desplazamiento hacia el Sur de los ejes geosinclinales, no es necesario forzar el argumento tectónico.

### 7. Resumen.

Resumiendo nuestra exposición tectónica, diremos que las formaciones secundarias que descansan al Norte, en forma normal sobre el paleozoico, forman, hacia el Sur, una serie de pliegues volcados en esa dirección, y cabalgantes, de lo que resulta una compleja estructura semi-imbricada, de la cual son escamas cada una de las series estratigráficas descritas.

Todos los anticlinales enraigan normalmente por el Oeste. Sucesivamente son: el de Montanisell, que cabalga al de Turp-Aubens; éste, a su vez, cabalga al de Peramolla (prolongación probable de los Montsechs), y éste al de

Oliana, que ya es un pliegue normal. Según este orden de ideas, Oliana, como pliegue y como estructura sedimentaria, correspondería a la repetición oriental de San Mamet. El cruzamiento de directrices tectónicas es lo que complica la disposición general.

## VI. HISTORIA GEOLÓGICA

El análisis estratigráfico y tectónico que hemos expuesto lleva a reconstruir la siguiente sucesión de hechos:

### 1. Triásico.

A partir del paleozoico, toda esta zona entra en régimen de geosinclinal. Durante el triásico, al principio, el régimen es continental, y en la depresión se acumulan potentes sedimentos margoso-detríticos del permotriás. La facies germánica que presenta el triásico hace innecesario detallar más las circunstancias de sedimentación y geografía. Los espesores acumulados en la zona, que empiezan entonces a descender, son considerables. El relleno mantiene, no obstante, el ritmo del hundimiento, lo que permite conservar el régimen continental.

### 2. Liásico y cretáceo inferior.

A partir del principio del liásico entra la región en régimen francamente marino. La falta del jurásico medio y superior, así como la presencia de lateritas y bauxitas sobre el liásico indica una interrupción temporal de la sedimentación marina con emersión. Desde el comienzo al fin del cretáceo inferior, toda la zona septentrional se hunde más o menos profundamente, y está afectada de

régimen marino, pero hacia el Sur los espesores sedimentarios decrecen hasta anularse en una línea de costa, lo que indica la situación al norte del fondo geosinclinal.

Las calizas aptenses, fétidas y bituminosas, indican régimen de aguas poco profundas. Las margas aptenses, en cambio, indican un rápido descenso del fondo, que hacia el Sur no se produce, faltando por completo la sedimentación correspondiente.

### 3. Cretáceo superior.

A partir del cenomanense, el eje sinclinal se desplaza al Sur, acusándose por los grandes espesores sedimentarios de la serie de Turp-Aubens.

El final del cretáceo indica un alto en el hundimiento y un relleno rápido con acumulación de considerables espesores garumnenses, de facies continental lacustre.

La presencia de *Orbitolina* en los conglomerados del garumnense alto acusan la actuación de movimientos larámicos que hayan hecho emerger en alguna zona el aptense, preparándolo para la erosión. Estas *Orbitolina* se encuentran tanto en los cantos como en el cemento.

Por la disposición estratigráfica y tectónica del conjunto, no parece que puedan provenir de zonas meridionales, en absoluta calma orogénica, y donde, además, no existen depósitos aptenses a distancias accesibles.

Misch (1), niega la actuación de movimientos larámicos en toda la región contigua por el Oeste y Noroeste.

Ashauer (2), en cambio, sí menciona plegamientos larámicos débiles en la región situada al NE.

(1) P. Misch: «Der Bau der Mittleren Südpynäen». — Abh. der Ges. der Wiss. zu Göttingen, 1934.

(2) H. Ashauer: «Die östliche endigung der Pynäen». — Abh. der Ges. der Wiss. zu Göttingen, 1934.

La disposición estratigráfica y tectónica de la región que hemos estudiado indica que los cantos aptenses no provienen de ella, ya que en su área no actuaron los movimientos larámicos, pero no muy lejos de ella, y en dirección al NE., había tierras emergidas con relieve suficiente para suministrar material sedimentario abundante.

### 4. Eoceno.

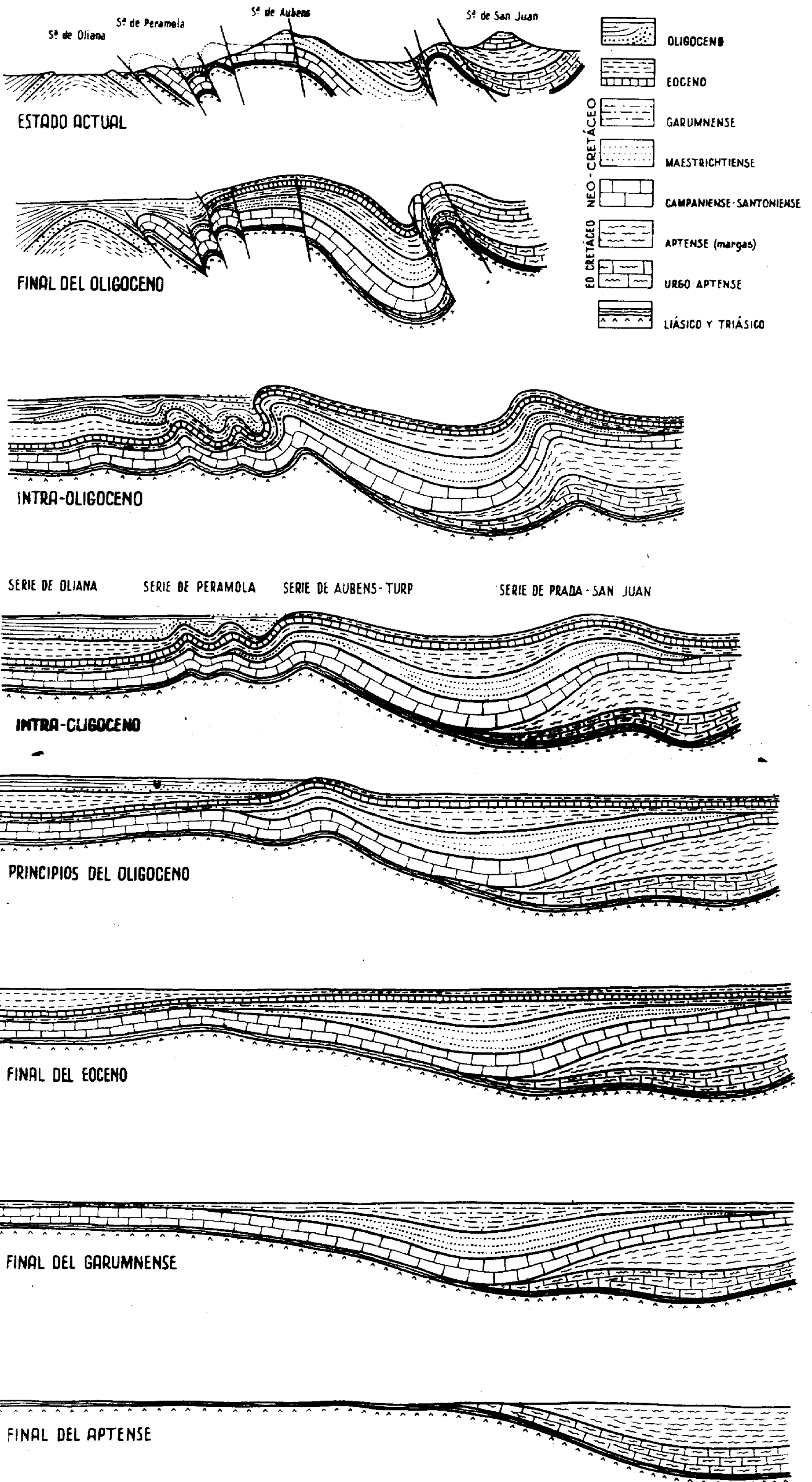
El final del cretáceo se señala por la invasión del mar eoceno con deposición de calizas de alveolinas. La sedimentación marina eocena es potente en las zonas meridionales, señalando una nueva traslación hacia el Sur del eje geosinclinal. Al final del eoceno se producen movimientos de importancia que originan la formación de las potentes masas de conglomerados de Oliana, basales del oligoceno.

Por lo menos el anticlinal de Aubens y Turp, queda ya marcado.

### 5. Oligoceno.

Estos movimientos subsisten durante todo el oligoceno, porque se observan en sus sedimentos marginales las discordancias progresivas que señalan una velocidad de sedimentación acorde y simultánea con la del plegamiento. En el flanco sur del anticlinal de Aubens-Turp se acumulan potentes espesores de conglomerados basales marginales. Los plegamientos se desarrollan en pulsaciones, estando los intervalos señalados por facies oligocenas menos detriticas. Las masas de conglomerados oligocenos marginales que cubren con la máxima discordancia las calizas secundarias del Turp y Aubens, demuestran que la vergencia del anticlinal era ya muy grande antes de terminar los plegamientos.

La fase más intensa de plegamiento, a fines del oligo-



J. M. Rios

Fig. 34.—Evolución paleogeográfica y tectónica de la zona de Coll de Nargó.

ceno, origina el cabalgamiento hacia el Sur del anticlinal de Montanisell, que avanza en esa dirección montando sobre el de Aubens y Turp. Más al Oeste, en la conca del Tremp, su extremidad occidental queda perfectamente enraigada. Allí, el anticlinal, se conserva entero.

El anticlinal de Aubens y el de Turp es empujado, a su vez, hacia el Sur. El flanco septentrional se estira y, finalmente, se rompe, desapareciendo hacia el Este por la cobijadura. Estos empujes finales y violentos, originadores de los pliegues y pliegues-falla de las sierras marginales, vergentes sobre la depresión del Ebro, pliegan en orla los depósitos oligocenos de su margen. Los primeros empujes del oligoceno debieron tener dirección NO.-SE., los últimos dirección N.-S. El acople de ambas direcciones origina las desgarraduras transversales y los cabalgamientos oblicuos en pico de flauta.

Continúa la sedimentación, esencialmente con la misma facies y, finalmente, masas de conglomerados se depositan horizontales y discordantes, no sólo con respecto a las masas secundarias, sino también con respecto a depósitos oligocenos, idénticos, pero más antiguos.

El eje geosinclinal se ha desplazado al valle del Ebro, que recibe, en su seno, potentísimos sedimentos oligomiocenos.

Todo el conjunto del relieve recién creado es entregado a la acción destructora de la erosión, que va modelando el relieve actual.

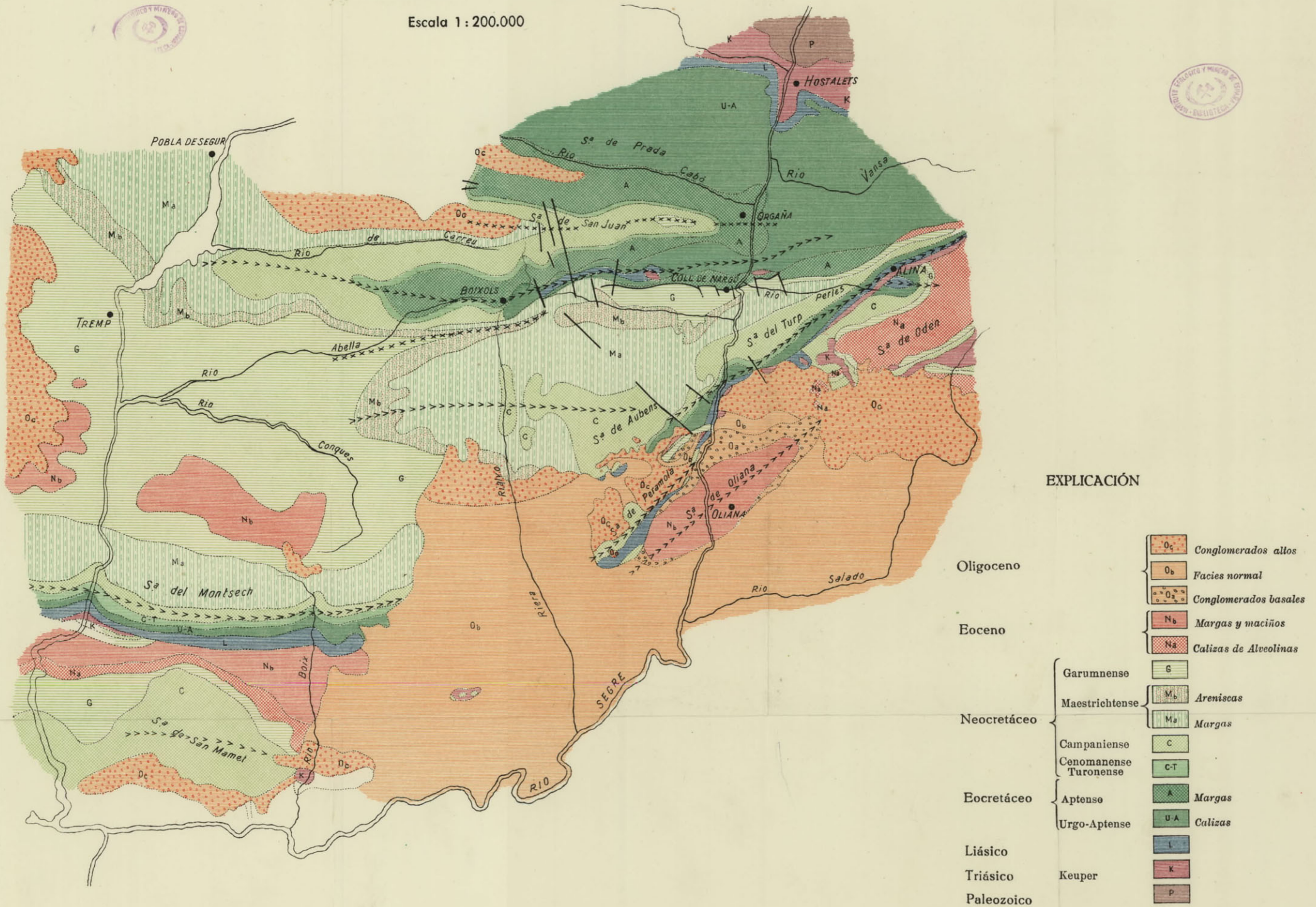
*Marzo, 1951.*

# LA ZONA DE COLL DE NARGÓ EN SU MARCO REGIONAL

por J. M. RÍOS

Completado por el N. y el O. con datos de P. Misch  
y por el E. con datos de H. Ashauer

Escala 1:200.000



## EXPLICACIÓN

Oligoceno	$O_c$	Conglomerados altos
	$O_b$	Facies normal
	$O_a$	Conglomerados basales
Eoceno	$N_b$	Margas y maciños
	$N_a$	Calizas de Alveolinas
Neocretáceo	G	Garumnense
	$M_b$	Maestrichtense
	$M_a$	Margas
Eocretáceo	C	Campaniense
	C-T	Cenomanense
	Turonense	
	A	Aptense
	U-A	Urgo-Aptense
Liásico	L	
Triásico	K	Keuper
Paleozoico	P	

$\\lllll$  Anticlinales

$\\times\\times\\times\\times$  Sinclinales

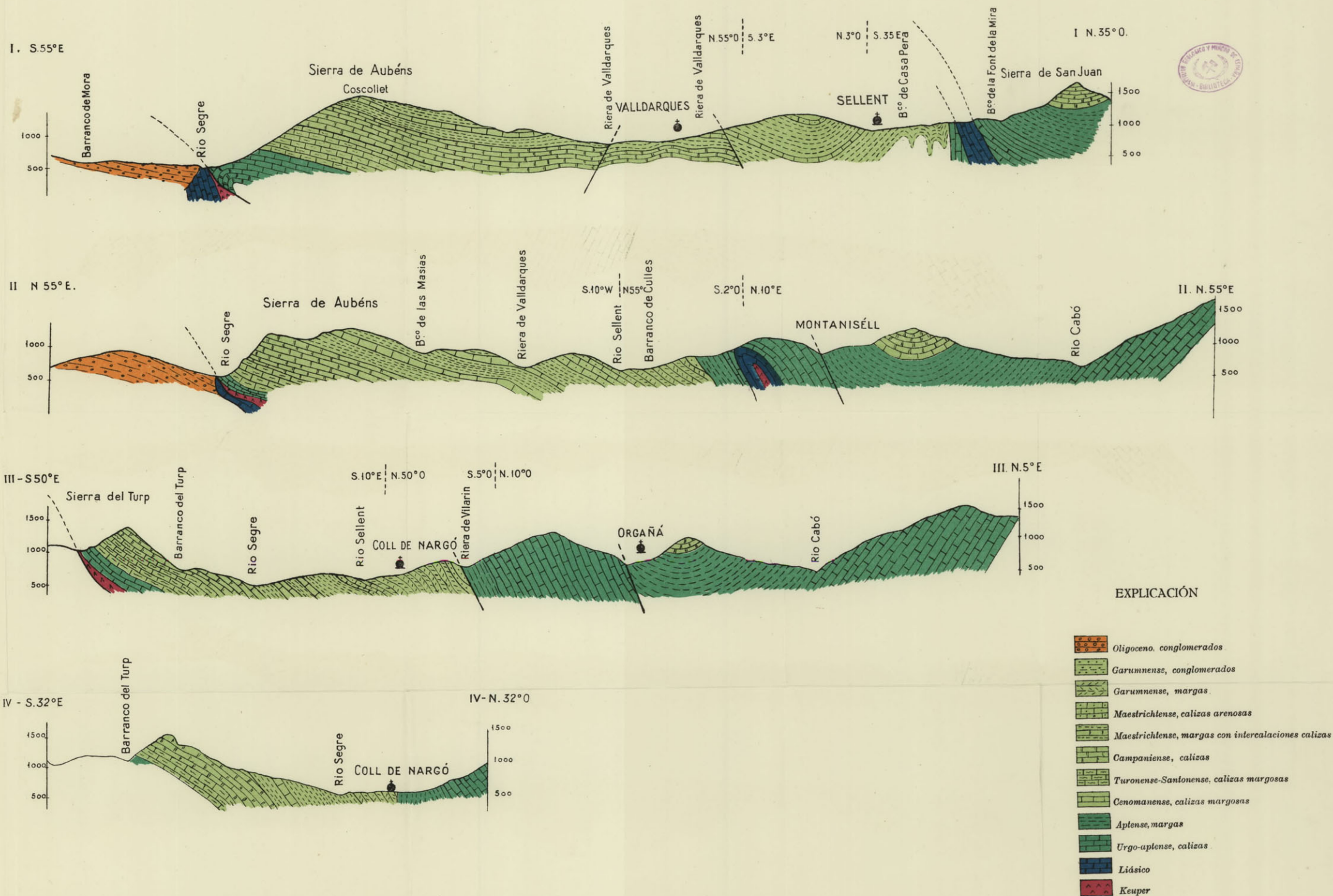


# CORTES GEOLÓGICOS DE LA ZONA DEL SEGRE AL SUR DE ORGAÑA

Verticales = Horizontales

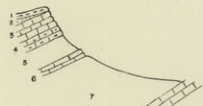
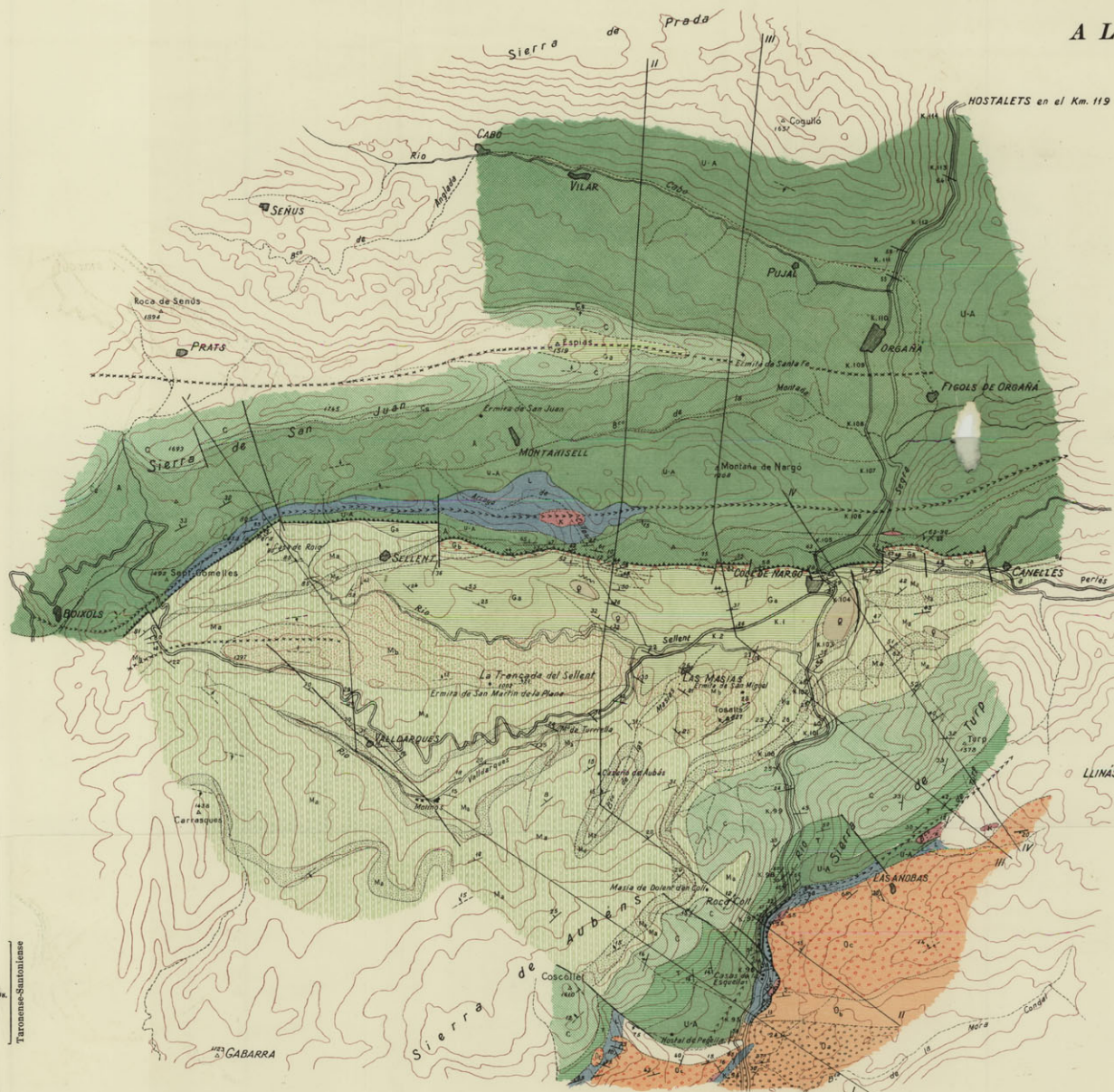
Escala 1 : 50.000

por J. M. RÍOS



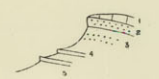
# VALLE MEDIO DEL SEGRE A LA ALTURA DE COLL DE NARGÓ

Por J. M. Ríos  
con la colaboración de J. Garrido  
Escala 1:50.000



SERIE DE PRADA-SAN JUAN

1. Garumense.
2. Calizas arenosas maestrichtienses.
3. Calizas arenosas.
4. Calizas margosas cenomanesas.
5. Margas superiores aptenses-albenses.
6. Banco calizo intermedio aptense.
7. Margas y margas calizas con finos bancos calizos subordinados aptenses.
8. Calizas urgoaptenses.



PARTE SUPERIOR DEL CRETÁCEO DE LA SERIE DE TURP-AUBENS

1. Calizas.
2. Conglomerados.
3. Margas y conglomerados.
4. Margas y calizas lacustres.
5. Calizas con lignito.



PARTE MEDIA DEL CRETÁCEO DE LA SERIE DE TURP-AUBENS

1. Calizas arenosas.
2. Margas con bancos calizo arenosos.
3. Calizas campanienses.



PARTE INFERIOR DEL CRETÁCEO DE LA SERIE DE TURP-AUBENS

1. Calizas campanienses.
2. Margas calizas oscuras con nódulos de sílex, 100 metros.
3. Bancos calizos, 70 metros.
4. Margas y calizas margosas, 200 metros.
5. Calizas arenosas, 20 metros.
6. Margas duras.
7. Calizas bastas del cretáceo inferior.

### EXPLICACIÓN

Cuaternario	Q	Conglomerados superiores
Oligoceno	O <sub>1</sub>	Facies normal
	O <sub>2</sub>	Conglomerados inferiores
Garumense	G <sub>1</sub>	Conglomerados
	G <sub>2</sub>	Margas
Neocretáceo	M <sub>1</sub>	Areniscas calíferas
	M <sub>2</sub>	Margas con calizas arenosas
Campaniense	C	Calizas
Turonense-Santonense	T	Calizas
Cenomanense	Ce	Calizas margosas
	A	Margas
Eocretáceo	U-A	Calizas
	L	Calizas
Liásico	L	Calizas
Triásico	Keuper	K
Contactos	---	Normal
	---	Por falla
	---	Por cabalgamiento



## BIBLIOGRAFÍA DE LAS OBRAS CITADAS

- ALMELA (A.) y RÍOS (J. M.<sup>o</sup>): «Explicación al Mapa Geológico de la provincia de Lérida».—Inst. Geol. y Minero de España. 1947.
- «Una nueva especie de *Discocyclina* del eoceno catalán».—N. y C. del Inst. Geol. y Min. de España, n.º 10.
- ASHAUBER (H.): «Die östliche endigung der Pyrenäen».—Abh. der Ges. der Wiss. zu Göttingen. 1934.
- ASTRE (G.): «Sur les petites orbitolines de Santa Fe de Organyá».—Bull. de la Soc. Géol. de France, 4.ª Série, tome 29, page 305 a 319. 1929.
- DALLONI (M.): «Étude géologique des Pyrénées catalanes». Argel, 1930.
- MISCH (P.): «Der Bau der Mittleren Südpynäen».—Abh. der Ges. der Wiss. zu Göttingen. 1934.
- RÍOS (J. M.<sup>o</sup>), ALMELA (A.) y GARRIDO (J.): «Contribución al conocimiento de la zona sub-pirenaica catalana».—I.ª parte, Bol. Inst. Geol. y Min. de España, tomo LVI. 1943.
- VIDAL (L. M.): «Datos para el conocimiento del terreno garumnense en Cataluña».—Bol. Com. Mapa Geol., tomo I. 1874.
- «Geología de la provincia de Lérida».—Boletín Com. Mapa Geol., tomo II. 1875.
- «Nota acerca del sistema cretáceo de los Pirineos de Cataluña».—1877.



## ÍNDICE GENERAL

NECROLOGÍA: D. MIGUEL MOYA Y GASTÓN DE IRIARTE, por D. Manuel Abbad.....	v
PRÓLOGO, por el Excmo. Sr. D. José García Siñeriz.	ix
LA ERUPCIÓN DEL NAMBROQUE EN LA ISLA DE LA PALMA (INFORME PRELIMINAR), por D. José Romero Ortiz.....	I
MICROPALEONTOLOGÍA APLICADA. ESTUDIO DEL SONDEO PROFUNDO DE OLIANA (PROVINCIA DE LÉRIDA), por D. Guillermo Colom .....	167
DELIMITACIÓN DEL CARBONÍFERO DE LA ZONA LA ROBLA- VEGARIENZA (LEÓN), por D. Antonio Almela	219
RADIATIVIDAD Y GEOFÍSICA, por D. Juan Manuel López de Azcona .....	257
ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y TECTÓNICO DE UNA PARTE DEL VALLE DEL SEGRE, EN LA PROVINCIA DE LÉRIDA (LA ZONA DE COLL DE NARGÓ), por don José M. <sup>a</sup> Ríos.....	561