

II / 2.0.1

BOLETÍN

DEL

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO

DE

ESPAÑA

TOMO LX

(20.º DE LA TERCERA SERIE)

1948



MADRID
TIP.-LIT. COULLAUT
MARIA DE MOLINA, 58
1 9 4 8



ABRAHAM GOTTLOB WERNER

1749 - 1817



FAUSTO DE ELHUYAR

1757 - 1833



CHARLES LYELL

1797 - 1875



JOAQUIN EZQUERRA DEL BAYO

1793 - 1859

AHORA HACE CIEN AÑOS.....

Ahora hace cien años que se publicó la primera traducción española de los «Elementos de Geología», de Sir Charles Lyell, hecha por D. Joaquín Ezquerro del Bayo.

Fue la obra de Lyell el primer texto universal de dicha disciplina científica, y la trascendencia que tuvo en su ejercicio fue igualmente universal. Su publicación constituyó un verdadero punto y aparte en la evolución del conocimiento geológico, y por este motivo es preciso recordar que ahora hace cien años apareció en nuestro país esa obra, entonces avanzada, y ahora clásica de la literatura geológica.

La ciencia geológica da en nuestro país sus primeros y valientes pasos de la mano de su madre, la minería; arte ésta la vieja Iberia tan antigua, más que como su historia, como prehistoria. Pero el decaimiento de tan noble, como importante y necesaria actividad, era muy grande a mediados del siglo XVIII. Había falta absoluta de toda enseñanza organizada e incluso las minas estatales de Almadén y Riotinto eran dirigidas por extranjeros. Para evitarlo se dispuso por Real orden, de Su Majestad el Rey Carlos III, firmada el 14 de Julio de 1777, que se estableciera en Almadén un Real Seminario para la enseñanza de la Geometría subterránea y de la minería, con objeto de formar personal español capaz de asumir funciones técnicas directivas. Así quedó constituida en

España la primera Escuela de Minería, heredera directa e inmediata de la establecida en Méjico dos años antes, y posterior sólo en diez a la Academia de Minas de Freiberg, en Sajonia, la primera del mundo, y en siete a la de Schemnitz, en los dominios eslovacos de Hungría.

Pero las enseñanzas eran excesivamente limitadas y su continuidad dejaba mucho que desear. Para remediar este estado de cosas nombra Fernando VII, en 1802, doce alumnos de número, con cuatro mil cuatrocientos reales anuales de sueldo, y doce supernumerarios sin dotación, a los que se exige una serie de conocimientos previos; esta reorganización de la enseñanza minera surte rápidos efectos y la dirección de las minas de Almadén, Almadenejos y Linares queda desde entonces a cargo de ex-alumnos de la Escuela de Almadén. Estaba, sin embargo, tan decaída la minería, que las plazas disponibles eran escasas, y el porvenir poco prometedor; tan poco, que faltos del estímulo de una brillante carrera, cunde el desánimo y en el año 1804 la Escuela lleva una vida lánguida.

Ante el triste cuadro que ofrece entonces la minería en España, país que contaba en aquella época con algunas de las zonas metalíferas más ricas del mundo, muchas de las cuales están hoy desgraciadamente agotadas o empobrecidas, el genio de Elhuyar se revuelve, y para remediarlo propone, en ilustrada Memoria, una ley orgánica para el gobierno de la minería en España, basada en la promulgada para América en 1783, y también para el de su enseñanza.

No vamos a estudiar, ni siquiera a enunciar, las interesantísimas ideas expuestas por Elhuyar para justificar su ley de Minas, los criterios establecidos para señalar su alcance, fijar el concepto del derecho de propiedad minera, etc., y no porque no merezca la pena recordar y detallar tan importante jalón en la vida minera de nuestro país, sino por-

que ahora sólo queremos recordar esta efemérides, cuyo centenario, debido sin duda a las anormales condiciones de 1938, pasó inadvertido.

La Junta de Fomento de la riqueza del Reino estudió esta ley, y Su Majestad la aprobó en julio de 1825. En su virtud quedó establecido y asegurado el libre laboreo de los criaderos minerales, antes privilegio de la Corona, y creada la Dirección General de Minas, regida por D. Fausto de Elhuyar, la cual ejercía además la función que hoy desempeña el Cuerpo de Minas.

Este fué creación poco posterior, y debido igualmente a iniciativa de Elhuyar, pero, fallecido en 1833, fué su sucesor D. Timoteo Alvarez de Veriña, quien puso a la Real firma de Isabel II una ley, en virtud de la cual se creaba dicho Cuerpo, y otra por la cual se reorganizaba la enseñanza de la minería con creación de una Escuela en Madrid y, simultáneamente, la de un laboratorio de análisis docimástico.

El Cuerpo de Ingenieros de Minas se componía de un Director general, un Inspector general, un Subinspector, tres Ingenieros primeros, ocho Ingenieros segundos, cuatro Ayudantes primeros, cinco Ayudantes segundos y tres Aspirantes, con sueldos anuales de cincuenta mil, treinta y seis mil, veintiocho mil, veintidós mil, dieciséis mil, doce mil, nueve mil y seis mil reales, respectivamente. También se especifica el uniforme, de casaca verde y cuello de terciopelo negro con bordado de oro, de distintas formas según la categoría. La fecha en que se firmó esta disposición es la del 14 de abril de 1836. El Reglamento de régimen y gobierno de la Escuela fué aprobado en enero del mismo año. Ahora, cuando tratan de arrebatarnos algunas especialidades típicamente nuestras, conviene recordar que el objeto de dicha Escuela era la enseñanza de la Mineralogía, Geognosia, Laboreo de Minas;

Mecánica aplicada a ellas; Docimasia y preparación mecánica de los minerales; y Metalurgia.

En estas disposiciones puso Cavanillas, que era entonces Director general de Minas, sus esperanzas e ilusiones de un rápido y brillante florecimiento de la minería española, que no se vieron defraudadas, ya que el ímpetu que recibió fué formidable y puso a España a la cabeza de la producción de muchas de las menas metalíferas.

Remozando estos recuerdos, que hubieran debido rememorarse con mayor solemnidad de no haber coincidido su centenario con la época de nuestra Guerra de Liberación, hemos olvidado el acontecimiento que nos ocupa.

Una influencia grande en el desarrollo de la minería española, pero aun más en el de la Geognosia, tuvo la iniciativa de Elhuyar, quien en 1828 propuso, y consiguió, que cinco Ingenieros (hasta principios de siglo se habían denominado geómetras o delineadores), fueran pensionados para estudiar los últimos adelantos de la minería y ciencias relacionadas, en la Escuela de Minería de Freiberg, y para que recorriesen los países en que más adelantado se encontraba el arte de la explotación de minas. Fueron los seleccionados D. Lorenzo Gómez Pardo, D. Isidro Sáinz de Baranda, D. Joaquín Ezquerro del Bayo, D. Rafael Amar de la Torre y D. Felipe Bauzá.

No son éstos, ni mucho menos, los primeros españoles que habían tomado contacto con la ciencia extranjera, y sobre todo con la minería alemana. Los hermanos Elhuyar iniciaron esta corriente en 1788, y no menos de treinta pensionados se desplazaron desde entonces hasta 1850, enviados especialmente para estudiar estas cuestiones, destacando entre ellos los nombres de Angulo (1791), Garza (1798), Larranaga (1798) y González Arnao (1826), por haberse dedicado más a las actividades geognósticas.

Pasemos ahora revista a la situación y desarrollo de los estudios geológicos en nuestro país, con anterioridad a la publicación del texto de Lyell.

La primera publicación científica de carácter periódico relacionada con la Geología, cuya existencia recordamos, son los «Anales de Historia Natural», que se empezaron a publicar en octubre de 1799. El primer trabajo del primer tomo, por D. Cristián Herrgen, profesor del Real Gabinete de Historia Natural, se denominaba «Materiales para la Geografía Mineralógica de España y de sus posesiones en América, según el sistema de Widemann». Eran redactores, además, Proust, Fernández y Cavanilles, el ilustrísimo naturalista, nombrados todos por Real Orden. En el mismo primer número aparece un estudio de Proust, sobre la «platina», el nuevo metal recientemente descubierto por Ulloa. Como ejemplo típico de un trabajo puramente geognóstico de la primera época tenemos las «Observaciones geognósticas que don Guillermo Thalacker, Colector del Real Gabinete de Historia Natural de Madrid, hizo en su paso desde esta Corte a Teruel, ordenadas por D. Cristián Herrgen», ilustradas con dos notabilísimos cortes geológicos, de muy detallada observación. Cualquiera de estos tomos de la venerable publicación es de curiosísima lectura, lo mismo que se trate de la descripción de los funestos efectos de la rabia, descritos por Cavanilles, como de sus relatos de las costumbres y aspecto de los indígenas de Nueva Gales, en Australia, o de los experimentos galvánicos hechos en Turín, por no hablar de los muchos estudios geognósticos, y sobre todo mineralógicos, que dichos «Anales» contienen, hasta que en 1804 dejaron de publicarse.

Los «Anales de Minas», esta veterana publicación minera, se publicaron por primera vez en 1838, de Orden de Su Majestad (que lo era entonces la Reina-niña Isabel II), por la

Dirección General del Ramo, regida en aquella época por el ilustre Rafael Cavanillas. Aparecía anualmente, y en ella veían la luz las disposiciones oficiales y legislación minera, estudios científicos de geognosia, minería y mineralogía y la estadística minera anual.

El primer número, el de 1838, contiene la firma de ilustrísimos nombres de los veteranos de nuestra Geología.

Del estado de la Mineralogía como ciencia, en 1835, nos da cuenta el entonces profesor de la Escuela, D. Rafael Amar de la Torre, en este número primero de los «Anales de Minas». La lectura de esta Memoria, en que se repasa el origen de los conocimientos, y se fijan cuáles eran los que se tenían entonces sobre Mineralogía, es muy curioso e interesante.

Dos preeminentes firmas, las de Ezquerro del Bayo y Schulz, nos informan de la disposición geognóstica y riqueza minera, del mediodía de España el primero, y de las hullas y Geognosia del principado de Asturias, el segundo.

Ezquerro del Bayo comienza su descripción por los terrenos terciarios, que no subdivide, como tampoco los secundarios. Sigue con los *terrenos de la grauwacka*, en que se incluyen desde rocas silurianas hasta la caliza carbonífera, pasando por la vieja arenisca roja. En esta formación, de gran desarrollo en Sierra Morena, arman zonas mineras muy ricas; describe con algún detalle la de Santa Cruz de Mudela, variada en sustancias minerales, entre las que se incluyen las galenas de La Carolina; el criadero de cinabrio en Almadén y los de hulla de Espiel-Bélmez y Villanueva del Río. Finalmente se ocupa de los terrenos llamados primitivos, que comprenden, según él mismo nos explica, no sólo la corteza primitiva del Globo, sino también las rocas de primera erupción, es decir, las graníticas. Como riquezas minerales de este terreno nos cita las de Linares, entonces aún sin estudiar des-

de el punto de vista geognóstico, y describe las minas de Riotinto. Los datos históricos que cita de estas famosas minas son curiosos, así como sus consideraciones geognósticas. Hace notar que la plata y el oro que contienen los minerales de Riotinto andan diseminados en la moneda de calderilla que circula por la Península. El quintal de pirita ferruginosa-cobrizada contenía cinco a seis libras de cobre y cuatro adarmes de plata aurífera.

Schulz divide las formaciones asturianas en: 1.º Terreno de transición o cambriano; 2.º De encrinetes o siluriano; 3.º Carbonífero; 4.º De margas irisadas; 5.º Cretáceo; y señala, además, algunos cúmulos de terreno primitivo o ígneo, y notables depósitos de acarreo antiguo y moderno. En el siluriano quedaba incluida la vieja arenisca roja y en el cretáceo formaciones jurásicas, cretáceas y eocenas, según el criterio de entonces. Luego hace un estudio de la minería en Asturias. La de hulla la practicaban a temporadas los labradores de los concejos de Langreo, Siero, Llanera, Tudela y Mieres, ejecutando para ello excavaciones irregulares y superficiales. El precio del carbón arrancado era de cinco cuartos por quintal en las minas, subía en algunas hasta dos reales, y a cinco reales en el puerto. Es precisamente en este año de 1838 cuando esta explotación rudimentaria por carboneras, o minachos sin concesión legal, según nos informa Schulz, empieza a desaparecer, ya que algunas Compañías poderosas solicitan la de casi todos los criaderos conocidos en Llanera, Langreo y Siero. Es el nacimiento formal de la poderosísima industria hullera actual de Asturias.

Termina este tomo primero de los «Anales de Minas» con una Memoria de D. Rafael Cavanillas sobre las minas de Almadén, en que hace consideraciones curiosas y entretenidas acerca de la riqueza minera de España y sus antecedentes históricos; y también son interesantes los datos que da acer-

ca de la riqueza minera y mineralurgia en las Españas de Ultramar, y la historia que hace de las explotaciones de aquellas famosas y viejísimas minas de Almadén. Expone diversos problemas de explotación, proponiendo una más intensa mecanización de las labores; la sustitución, por ejemplo, de las mulas que movían los malacates de extracción por máquinas de vapor. El problema de la mano de obra, y atenciones sociales para remediar las típicas enfermedades del vapor de mercurio, es examinado en sus antecedentes y en el estado que entonces tenía. Otro problema, ahora, como entonces, vital en España, preocupa a Cavanillas: el de la repoblación forestal. Aconseja que se planten pinarés en los alrededores de Almadén, señalando las múltiples ventajas que ello representaría, tanto por ahorro en los transportes de madera para las labores mineras, como por mejoramiento del aspecto, clima y salubridad general de la región. A este respecto señala que en terrenos que parecían más estériles que los de Almadén, como son los de Ríotinto, se sembraron pinarés en 1770-1772, que pronto alcanzaron gran extensión y desarrollo. Y es interesante recordarlo porque muchas veces hemos oído atribuir y poner como ejemplo de la actividad extranjera esta plantación de pinos de Ríotinto, pero Cavanillas nos dice que se hizo por iniciativa y encargo de don Francisco Sans, Administrador de las minas en nombre de Su Majestad.

No podemos detenernos, aunque bien merecería la pena, a señalar el contenido de los restantes tomos de los «Anales de Minas», pero tampoco podemos resistirnos a señalar algunos de los más interesantes.

En el tomo II, aparecido en 1841, tenemos como novedad ver usado por primera vez el tradicional emblema de los dos martillos o del martillo y punterola, importado sin duda de Alemania por los pensionados en Clausthal y Frei-

berg, y quizá precisamente por Ezquerria del Bayo, quien siempre demostró un gran amor por los símbolos y tradiciones de la minería.

Entre muchas disposiciones interesantes, encontramos una reforma en la estructura de la Dirección General, en que se ampliaba considerablemente su plantilla, prueba del espléndido resultado de la visión de Elhuyar y Cavanillas.

En materia de Geognosia tenemos estudios hechos por Ezquerria del Bayo en la Sierra del Moncayo; la reseña geognóstica y minera de la provincia de Burgos, por Naranjo; la de la parte oriental de la provincia de Almería, por Pellico y Maestre; un estudio de la constitución geognóstica de las Islas Filipinas, por Sáinz de Baranda; y una traducción de un trabajo del ilustre Ingeniero francés Leplay, sobre Extremadura y Norte de Andalucía. En Paleontología, un estudio de los huesos fósiles de las inmediaciones de Madrid, por J. Ezquerria del Bayo, y otro sobre pistas y pisadas fósiles, por Amar de la Torre.

Además hay interesantes trabajos de minería, metalurgia y mecánica. Cierra el tomo el Escalafón Nacional del Cuerpo de Ingenieros de Minas. Era Inspector general don Fernando Caravantes; Subinspector general, D. Lorenzo Gómez Pardo; Ingenieros de primera clase eran Schulz, Ezquerria y Amar de la Torre; de segunda, Zubiaga, Fournier, Bauzá, Sánchez Dalp, García, de Prado y Pellico. Entre los Ingenieros ayudantes de entonces destacaron a mayor altura científica Naranjo, Garza, Maestre, Cia y Aranzazu.

También se publicaron en dicho tomo II las plantillas de la Escuela de Ingenieros de Madrid, y de Minería Práctica de Almadén.

Los rudimentarios mapas y cortes geológicos en negro, del primer tomo, son sustituidos en éste por otros en color.

iluminados a mano, a la acuarela, muy bonitos y bien ejecutados.

En el III tomo, aparecido en 1845, hay un antecedente de problemas ahora muy actuales, en una Real Orden en que se deslindan y precisan las enseñanzas que se han de dar en las Escuelas de Caminos y Canales y en la de Minas. Por otra orden se crea, en 1844, en esta última, la cátedra de Química general y Docimástica, que tan ilustremente rigió D. Luis de la Escosura, designado entonces para desempeñarla.

En este tomo son de señalar, aparte de diversos trabajos de minería, metalurgia y mecánica, las interesantísimas descripciones geognósticas de Aragón y Cataluña, por don Amalio Maestre; de las formaciones terciarias del centro de España, por Ezquerria del Bayo; y otra del mismo autor sobre los antiguos diques de la cuenca terciaria del Duero.

En el tomo IV, aparecido en 1846, son notables una Real Orden en que se dictan varias disposiciones para el aprovechamiento de aguas que resultan en la explotación de las minas, y otra por la que se crea la Escuela Teórico-práctica de Minería, en Asturias.

Como novedad, encontramos que se ha introducido la denominación de Geología en vez de Geognosia, y son muy interesantes en estas materias los estudios denominados «Vistazo geológico sobre Cantabria», por Schulz; «Apuntes geognóstico-mineros de la provincia de Huesca y parte de la de Zaragoza», por Aldama; y un estudio del litoral mediterráneo entre el Cabo de Palos y Estrecho de Gibraltar, por Maestre; para no mencionar más que los inmediatamente relacionados con la ciencia geológica.

Es de notar, en este tomo, cómo la nomenclatura geológica, en el breve trabajo de Schulz, incluye ya los términos cambriano, siluriano, devoniano y carbonífero, así como los

de keuper, lías, jura superior y creta, sin duda por haber estudiado ya los tratados de Lyell.

La contribución de los «Anales de Minas» al conocimiento geognóstico del país se vió reforzada desde 1842 por la, muy importante también, de una serie de trabajos geológicos que aparecieron en el «Boletín Oficial de Minas», que comenzó a publicarse en aquel año. Su objeto primero fué el de anunciar los infinitos registros que, como consecuencia del impulso dado a la minería por las sapientísimas disposiciones de Elhuyar, hacían los distritos mineros; pero pronto fué ampliado para dar cabida a una serie de trabajos científicos y de investigación.

Recordemos, entre otros, «Vistazo geológico de Cantabria» y «Reseña de los principales criaderos de carbón del Principado de Asturias», por Schulz; las descripciones geognósticas y mineras de las provincias de Zamora y Palencia, por Ezquerria; las de parte de las provincias de Granada y Almería, por Amar de la Torre, y, en fin, otras muchas de Bauzá, Pellico, Naranjo y Garza, Maestre, Cia, Paillette, De la Escosura, aparecidas antes de 1845.

Una síntesis, ordenada por formaciones geológicas, de todos estos conocimientos puede encontrarse en la monumental e inacabada obra de D'Archiac, titulada «Histoire des Progrés de la Géologie de 1834 à 1850», publicada por la Sociedad Geológica de Francia en 1851.

Vistos desde el punto de vista de los conocimientos actuales, todos estos trabajos que acabamos de citar resultan muy confusos. El mismo Ezquerria del Bayo confiesa, que anteriormente a su viaje a Alemania no eran muchos sus conocimientos geognósticos. Es, pues, el viaje de los cinco Ingenieros pensionados el verdadero punto de partida de la geología española. En Alemania se pusieron al tanto de los últimos adelantos de la ciencia geológica de entonces. Conocerían

también los avances de la escuela inglesa, pues aún resonaban los ecos de las ruidosas polémicas entre «Neptunistas» de Werner y «Plutonistas» de Hutton, y es indudable que, aficionados desde entonces a la ciencia geológica con pasión de neófitos, no dejarían luego de estar nunca en contacto con sus últimos adelantos.

La lectura de aquellos trabajos geognósticos resulta confusa, sobre todo cuando se refieren a zonas sometidas a plegamientos intensos. La tectónica era entonces tan rudimentaria que, en las zonas plegadas, los geólogos de entonces se perdían con facilidad. Unida a esta confusión la que resulta de la interpretación actual de las viejas nomenclaturas, resulta difícil seguir las descripciones de aquellos autores, que, además, se referían sólo a las líneas más generales.

Lo primero que choca es la desproporción entre los conocimientos petrográficos y los geológicos. Las descripciones de rocas y minerales son exactas y precisas, y van acompañadas con frecuencia de resultados de análisis petroquímicos. Es interesantísimo el examen y análisis de los datos mineros, y merece la pena que se haga de ellos minuciosa revisión. Leyendo con atención las descripciones de yacimientos y criaderos, que tan gran extensión ocupan en aquellos trabajos, quizá pudiera encontrarse la pista, la indicación, de más de una riqueza minera olvidada.

Pero, con toda su confusión, estos trabajos son los primeros, los embriones a partir de los cuales se ha desarrollado la planta del conocimiento de las geologías regionales. Son como aquellas ruinas confusas, aquellos cimientos romanos medio borrados, en que se han ido apoyando sucesivamente, con solidez de roca, las edificaciones de las siguientes generaciones.

¿De dónde obtuvieron estos primeros geólogos sus cono-

cimientos? ¿Cuáles eran sus obras de estudio y consulta? Es muy difícil contestar a estas preguntas tan interesantes.

De sus viajes a Alemania trajeron gran cantidad de manuscritos, que se conservan en algún rincón de los archivos de la Escuela de Minas. Existían, además, las cátedras de Historia Natural del Real Museo de Madrid.

Conocerían la obra del P. Torrubia «Aparato para la historia natural española», publicada en 1745, e ilustrada con catorce láminas de fósiles, así como la «Introducción a la Historia Natural y a la Geografía Física de España», por don Guillermo Bowles, que vió la luz en Madrid en 1775; pero en estas obras las ideas geognósticas son aún muy rudimentarias. Su lectura es, no obstante, muy curiosa, tanto en sus descripciones mineras, como en las petrográficas. No hablemos de obras más antiguas, y extranjeras, como las de Jacob Scheuchzer, «Beschreibung der Natur Geschichten des Schweizerlandes», aparecida en Zurich en 1706, con preciosas láminas de fósiles y minerales, o la «Helvetiae Stoicheiographia, Orographia et Creographia, oder Beschreibung der Elementen, Grenzen und Bergen des Schweizerlandes. Der Natur-Histori des Schweizerlandes», aparecida también en Zurich en 1716; obras curiosísimas, pero mucho más distantes de los conocimientos de la época que nos ocupa, que éstos de los de la nuestra.

A mitad del siglo XVIII, Lehman, Ingeniero de Minas alemán, propuso la primera clasificación de las rocas por clases correspondientes a edades de formación, y éstas eran tres: las primitivas, que reunían el conjunto de plutónicas y metamórficas; secundarias (floetz) o grupo de estratos acuosos o fosilíferos, y terciarias o de aluvión.

Procedentes de la biblioteca de la antigua Comisión del Mapa Geológico, tenemos apuntes manuscritos, denominados «Breve clasificación y descripción de diferentes especies de

rocas», por A. G. Werner, Inspector de la Academia de Minas y Profesor de Minería y Mineralogía en Freiberg. Aparecen fechados en Dresde el año 1787. Ignoramos si fueron tomados al oído; pero más probable es que los copiara alguno de los mencionados pensionados y les pusiera la fecha de su edición original, pues hay indicios de que la copia es posterior al 1800.

En esta obra la geología es definida como teniendo por objeto el conocimiento de la naturaleza, destrucción, origen y edad relativa de las masas minerales que componen el globo terrestre.

Las formaciones, o rocas, como se denominan en el trabajo, las divide Werner en primitivas, de transición, secundarias, volcánicas y aluviales o de transporte.

Dice, que estas rocas primitivas, las de origen más antiguo, tienen señales de haber sido formadas por la vía húmeda, o sea en el seno de las aguas; su estructura es granulosa o pizarrosa. Otro carácter que poseen es de no hallarse en ellas petrificación alguna. Son rocas primitivas, el granito, gneis, pizarras micáceas, arcillosas de pórfido, pórfido, basalto, piedra almendra, serpentina, calizas primitivas, cuarzo y roca de topacio. No se detallan las de transición en este trabajo, porque es modificación que introdujo Werner, posteriormente, en su sistema.

De las rocas secundarias, dice que son de formación más reciente que las primitivas, e incluso consideraba verosímil que se hubieran formado a expensas de aquéllas. Es característica suya la existencia de petrificaciones que a veces son muy abundantes. Son más bien calizas y arcillosas, en contraposición al carácter, más bien guijarroso, de las primitivas. Otro carácter distintivo que poseen es el de que en una misma montaña alternan capas de diversas rocas. Son rocas secundarias las piedras calizas, piedras areniscas, car-

bón de piedra, piedra de creta, de sal gema, de yeso y de arcilla ferruginosa. A veces, también la pizarra arcillosa y el basalto pertenecen a las montañas secundarias, y debén ser consideradas como tales.

Las montañas volcánicas deben al fuego su existencia, o al menos su transmutación. Son verdaderamente volcánicas las primeras, las que deben su existencia y acumulación al fuego; semivolcánicas, las segundas. Las rocas volcánicas están caracterizadas por su aspecto seco, quemado y hendido, o también ampolloso, y semejante a las escorias. Consisten, en parte, en verdaderas lavas; en parte, en piedra pómez, y, en parte, de cenizas volcánicas. Semivolcánicas son las escorias de tierras semejantes a las lavas, el jaspe de porcelana y, en fin, toda clase de arcillas semiquemadas.

Opinaba Werner que los grandes incendios de masas de carbón de piedra, soterradas en la proximidad de las montañas de basalto, daban origen a rocas pseudo-volcánicas.

Por la misma época desarrolla Hutton, en Edimburgo, el sistema «Plutonista», en que, con certera visión, daba al fuego o calor interno del globo el papel que le corresponde no sólo en la formación de los granitos y rocas plutónicas, sino incluso en la dinámica terrestre, si bien se exagerase o desorbitase su influencia. Teoría tan sensata no dejó de hacer mella en los propios reductos de Werner, en Freiberg, de la misma manera que acérrimos neptunistas combatían a Hutton en su Edimburgo natal.

Ya Werner se da cuenta de «que el número de rocas que él considera volcánicas, lo encontrarán muchos muy reducido, influidos como están por los argumentos de los mineralogistas geognostas, amantes del fuego», y cuando volvió en 1775 a Freiberg se encontró desagradablemente sorprendido, según él mismo nos dice, al ver universalmente adoptado el sistema de los plutonistas; adhesión ganada «por el interés de esta

doctrina, por el arte de persuasión de sus defensores y, en algún modo, por la apariencia de la cosa misma», que incluso parece que llegó a convencer parcialmente a Werner, aunque sólo fuera a medias, ya que en el año 1776 visitó las montañas de basalto más célebres de Sajonia, las de Stolpen, y no hallando ni un solo vestigio de haber habido algún volcán, sino huellas de todo lo contrario, volvió a aferrarse a sus ideas neptunistas.

Las rocas aluvianas, de transporte, del sistema de Werner, son las más recientes. Proceden casi por completo de partes de montañas primitivas, de las de capas, y alguna vez, también, de las volcánicas que han sido destruidas. Se dividen en dos especies: montañas guijarroso-arenosas y sitios bajos. Rellenan las primeras anchos valles y contienen estaño, oro, piedras ferruginosas de transporte y piedras preciosas, pero no petrificaciones. Las segundas se dividen en tierras arenosas, limosas y cenagosas. Pueden contener petrificaciones procedentes de montañas secundarias, pero son exclusivas en ellas la madera petrificada y las partes de cuadrúpedos, expresándonos con la fraseología original.

Así quedaron establecidos los fundamentos de la escuela neptuniana. Suponía, pues, ésta, que nuestro globo había estado en un principio envuelto o rodeado por un océano caótico, conteniendo en disolución los elementos de todas las rocas. Del agua de este océano se precipitaron primeramente el granito y gneis y demás formaciones cristalinas. Después, cuando las aguas se purgaron de aquellos ingredientes y se parecieron más a los mares actuales, se depositaron los estratos de transición. Estos fueron de carácter mixto; no eran exclusivamente químicos, porque las olas y las corrientes habían empezado ya a arrastrar cantos, arena y fango; no estaban enteramente desprovistos de fósiles, porque los primeros animales marinos habían empezado ya a existir. Pasado

este período, las formaciones secundarias se fueron acumulando en aguas semejantes a las del océano actual, excepto en los intervalos en que, por causas incomprensibles, volvía a aparecer el flúido caótico y se volvían a formar rocas trápicas, algunas de ellas eminentemente cristalinas. Esta hipótesis arbitraria desechaba todo género de intervención de los agentes igneos, siendo mirados los volcanes como unos accidentes, parciales y superficiales, de muy poca importancia con respecto a las grandes causas que han modificado la estructura del globo.

Estas eran, con palabras de Lyell, las ideas emitidas por Werner en 1787 y copiadas por algunos de los pensionados, ya en el siglo siguiente.

Las teorías de Werner eran conocidas, además, por los «Elementos de Oritognosia», publicados por D. A. Manuel del Río, en Méjico, en el año 1800, y por la obra de Herrgen «Descripción geognóstica de las rocas que componen la parte sólida del globo terrestre», publicada en 1802. Este autor había publicado cinco años antes una traducción de la «Oritognosia», de Windemann.

No dejarían de conocer tampoco dos obras interesantes de geognosia, una de ellas, los «Voyages de Saussure dans les Alpes», por su gran resonancia en su época, y la otra, los «Essai sur les Pyrénées» (1781) y «Memoires pour l'Historie Naturelle des Pyrénées» (1809), de Palassou, por su tema, de gran interés para España, así como las famosas relaciones de los viajes de Humboldt, preñadas de datos y consideraciones geognósticas.

Por esta época se podían frecuentar en Madrid, y así en efecto lo hacían los alumnos de la Academia de Almadén, las cátedras de Mineralogía del Real Gabinete de Historia Natural de Madrid, a cargo de D. Cristián Herrgen, discípulo de Werner, que fueron fundadas en 1798. Hacia finales

del siglo XVIII, la actividad naturalista se desarrolla en gran manera, encontrando su expresión en los «Anales de Historia Natural» antes citados, donde colaboraron hombres tan ilustres como Proust, Jordán de Asso, Thalacker, Herrgen, De la Cuadra, Lagasca, Humboldt, Cavanilles y otros.

Un adelanto considerable en los conceptos tectónicos expresa una obra manuscrita, de Kühn, que existe en la Biblioteca del Instituto Geológico. No tiene fecha y está compuesta de tres tomos de laboreo y uno de geognosia, con figuras a mano dibujadas en los anchos márgenes de sus páginas. Están copiados, en alemán, por varias manos distintas. Era Kühn profesor de Freiberg, y esta obra sería adquirida por algunos de los pensionados. Son muy completas las partes de geografía física y petrografía. Todo el texto está enfocado a la aplicación minera de la geognosia. La división de terrenos adoptada es la de: Primitivos (*Urgebirge*); Transición (*Übergangsgebirge*); Secundarios (*Floetz gebirge*); Terciarios; Recitivos (*Flötzentrapp*); De arrastre (*Aufgeschwemmte*), y Volcánicos. Advertimos que Kühn es neptunista y, por consiguiente, ofrece el granito y rocas similares como producto de precipitación química en el agua. Como novedad tenemos lo que llama formaciones *recitivas* (*Recitiv gebirge*) una especie de intermedio entre las características de las primitivas y las terciarias; tan pronto de gran cristalinidad como carentes de ella; tan pronto de precipitación química como de agregación mecánica; contienen petrificaciones, pero menos que las secundarias, terciarias y de arrastre, así como basaltos.

Mencionemos también una obra de Werner y D'Aubuisson, aparecida en París en 1802, llamada «Nouvelle théorie de la formation des filons», como traducción de la edición original en alemán, aparecida en 1791, y que conocerían los pensionados por su doble interés geológico y minero.

Otro de los libros en que estudiaban seguramente estos geognostas de la primerísima época era el «Traité de Geognosie», de J. F. D'Aubuisson de Voisins, aparecido en 1819. D'Aubuisson fué discípulo de Werner, y nos dice que éste exponía su doctrina con arte tal que penetraba a sus auditores hasta el entusiasmo; sabía inspirar, no sólo el gusto, sino la pasión de su ciencia.

El libro de D'Aubuisson es ya un verdadero texto de Geología y demuestra que el impulso recibido por esta ciencia fué formidable: sus primeros pasos fueron ya pasos de gigante. Se basa dicho autor en las ideas de Werner, pero ya muy evolucionadas. Junto a algunos conceptos simplistas encontramos definidos todos los conceptos fundamentales, como los de transgresión, anticlinal, sinclinal, etc., presentados con un orden, en la exposición, no esencialmente diferente del que encontramos en las obras actuales. Sus capítulos de geografía física, destrucción de las montañas, acción de los agentes atmosféricos, vulcanismo, estructura de las rocas, etc., no están muy alejados de la forma expositiva actual. Son, en cambio, muy rudimentarias sus nociones de tectónica. Ya se sospechaba entonces la falsedad de que la inclinación de los estratos se debía a la del fondo en que se depositaban, y se atribuía al propio peso de las capas, que, al formarse y acumularse, producía deslizamientos que eran probablemente los causantes de una parte de los trastornos, lo que es, al mismo tiempo, idea muy moderna. Pero aun no había surgido la idea de los plegamientos por presiones tangenciales.

Dice D'Aubuisson, con razonamiento rigurosamente actualista: «hoy en día no se produce ningún efecto de esta clase, es decir, ningún cambio en la posición de las capas; y de nada podemos juzgar si no es por comparación». Recordemos que D'Aubuisson era wernerista y admitía la pre-

cipitación química subacuática de los granitos y gneis, de modo que es puramente neptunista en su descripción e interpretación de los terrenos llamados entonces «primitivos».

Los terrenos intermedios se caracterizan, según D'Aubuisson, por la grauwacka; son prolongación de los primitivos, pero tienen vestigios de animales y vegetales y, además, son algo menos cristalinos. Su paso a los primitivos es gradual; su límite inferior es el terreno hullero. En los terrenos secundarios, ricos en petrificaciones, encontramos, de inferior a superior, la arenisca roja (*old red*), incluyendo el hullero, la arenisca abigarrada o arcillosa (*new red*) y la caliza conchífera, alpina, o del jura.

La división de D'Aubuisson para los terrenos secundarios es, de abajo arriba: la arenisca primera o roja, que incluye el hullero; la segunda o abigarrada, en la que incluye el nagelfluve suizo; la tercera, es el quadersandstein de Sajonia. La caliza secundaria empieza con la alpina, separada de la del jura por una capa de yeso, correspondiendo, según él, al lías y al jura de los ingleses, respectivamente, pero que son el rothliegenden y el zechstein. La segunda formación caliza es la conchífera, el muschelkalk, pero las equivalencias que establece son falsas, porque correspondían a la serie jurásica entera, conocida entonces en Inglaterra por los trabajos de William Smith. Luego viene la formación gredosa de la creta.

Los terrenos terciarios, aquellos posteriores a la formación del terreno de la creta, son formados únicamente de la destrucción de rocas preexistentes y se componen de capas de margas, arcillas y arenas, entremezcladas con algunos bancos de calizas y areniscas, y con algunas vetas finas de materias carbonosas y de yeso. Los terrenos de los alrededores de París son característicos de estas formaciones terciarias y contienen restos óseos de grandes animales.

Finalmente, tenemos los terrenos de transporte o aluvión, *Aufgeschwemmte Gebirge* de los alemanes, y, aparte los volcánicos.

Cierra el libro un tratado de criaderos. Es, pues, la obra de D'Aubuisson, un verdadero texto de geología en el preciso y actual concepto de este término, y su estructura no difiere en nada esencial de los que usamos hoy día, salvo, claro es, en la falta casi absoluta de conceptos tectónicos.

Ya para entonces había establecido William Smith que «Inglaterra está regularmente dividida en capas, que el orden de su superposición no está nunca invertido, y que son exactamente fósiles semejantes los que se encuentran en todas las partes de una misma capa y a grandes distancias». Esto, añadido a la claridad de las formaciones secundarias inglesas, había permitido un gran avance en la estratigrafía.

El orden estratigráfico establecido por Smith consiste en la siguiente serie, apoyada sobre los terrenos primitivos, sobre la grauwacka y sobre la caliza de encrinetes o de montaña: 1.º Terreno hullero; 2.º Caliza magnésiana; 3.º Marga y arenisca roja, yeso, sal gema; 4.º Lías con ammonites; 5.º Marga azul con belemnites; 6.º Caliza oolítica; 7.º Caliza blanca y arenosa; 8.º Pizarras calíferas bituminosas; 9.º Arenas ferruginosas; 10. Calizas coralíferas y pisolitas; 11. Margas azuladas; 12. Arenas verdes y areniscas calíferas cloritosas; 13. Creta; 14. Arena; 15. Arcilla plástica; 16. Arcilla azulada de Londres.

Y ¿qué es lo que sabían de las teorías plutonistas? Que las conocieron y aceptaron de antiguo es evidente, ya que no hay huella de los excesos doctrinales de los neptunistas en los trabajos de nuestros primeros geólogos. Entre el fondo de libros antiguos de la Escuela de Minas existe una «Théorie de la Terre», de Hutton, traducida por Basset y publicada en 1815. Estamos en plena ebullición de la pugna

entre plutonistas y neptunistas. El traductor no quiere tomar partido y añade al libro la traducción del «Examen comparatif des systèmes géologiques», de Murray, quien, aunque compatriota de Hutton, era furibundo neptunista.

La edición original de Hutton, llamada «Theory of the earth, with proofs and illustrations; in four parts», apareció en Edimburgo el año 1795. En realidad, la traducción que tenemos entre manos se refiere a las explicaciones acerca de las teorías de Hutton, que Playfair daba en la cátedra de Geología de dicha ciudad. Punto fundamental de éstas es que la acción consolidadora de las rocas estriba en la acción del fuego y no del agua, y, para justificarlo, ingenió cantidad y variedad de argumentos de todo orden. Otro punto importante de las ideas huttonianas es que teniendo lugar su deposición en el fondo del agua, la posición original de los estratos fué, sin duda, la horizontal, hecho importante en la controversia, porque obligaba a buscar una razón para explicar la inclinación de las capas, distinta de la que Werner ofrecía con sus sedimentaciones originalmente inclinadas. Según Hutton, la posición muy desviada a veces de la horizontal y las inflexiones de los estratos en todos los sentidos, son prueba de las convulsiones que han experimentado y de la violencia con que han sido desplazados de su primitiva disposición; en cuanto a los esfuerzos que las causaron se han dirigido de abajo arriba, y su causa reside en el calor subterráneo. También opone Hutton a los neptunistas, que los basaltos y los granitos tienen el mismo origen ígneo que las lavas y demás rocas volcánicas. Es muy curiosa la lectura de la controversia entre Playfair y Murray, reproducción del *Hutton versus Werner*, y que viene epitomizada en los comentarios de Murray al curso de Playfair, refutación de los argumentos plutonistas.

No cabe duda de que nuestros primeros geognostas, ya

que así gustaba a ellos llamarse por considerar la voz *geología* mucho más amplia y menos precisa, tenderían a las ideas neptunistas, puesto que las bebieron en las puras fuentes de Freiberg, con Werner.

Pero, como extraños, observadores más desapasionados de la polémica, por su clara intuición y viveza intelectual de meridionales, no dejarían de estimar las magníficas posibilidades y aciertos de las ideas vulcanistas, y moderados los excesos de una teoría con las ventajas de la otra, se situaron desde el primer momento en un justo y exacto término medio, el más cercano a la verdad limitada de entonces, que observamos en los escritos españoles de la primera época.

Una obrita que alcanzó gran difusión en todo el mundo, por aquel entonces, es la «Géologie elementaire», de N. Bouée. La primera edición se hizo en 1832, y pronto fué traducida a todos los idiomas cultos de entonces, incluso al árabe. La edición que hemos examinado fué la cuarta, en francés, sin fecha, pero posterior a 1843.

Es curiosa por muchos detalles. Rebasada la época de las exageraciones plutonistas y neptunistas, en esta obra los criterios geológicos son ya más exactos y ponderados, aunque aun rudimentarios en algunas cuestiones. Es obra elemental, de divulgación de la geología.

En ella, las rocas graníticas son consideradas zócalo de las sedimentarias, originado por consolidación y enfriamiento del magma. La formación de las cordilleras es atribuida a empujes y tensiones de hálitos y vapores originados por el calor interno. Su localización en el tiempo aparece definida por la existencia de formaciones horizontales descansando sobre otras plegadas. El mundo fué creado en los cinco días enunciados por Moisés, pero eran días metafóricos, cinco grandes épocas, ya que han sido necesarios muchos millares de siglos para permitir la realización de tan larga serie de

fenómenos. Atribuye al mundo, por lo menos, trescientos mil años de edad. En este largo período los seres se han renovado por extinciones y creaciones sucesivas. Así, las especies, ya vegetales, ya animales, que hayan podido desarrollarse en medio de la atmósfera espesa, ardiente y tenebrosa de las primeras épocas, tuvieron necesariamente que perecer cuando estas circunstancias cambiaron totalmente. A este fenómeno de la creación en masa de seres nuevos no se le podía encontrar explicación alguna y había que referirlo totalmente a obra del Creador.

En la primera época, el globo terráqueo estaba en estado incandescente; en la segunda aparecieron los seres organizados, primero plantas, luego seres acuáticos marinos; en la tercera época aparecieron animales terrestres; en la cuarta tenemos pruebas de la ocurrencia de un diluvio universal. Para Boubée es dudoso si el hombre apareció sobre la Tierra antes o después de este gran cataclismo, pero por nuestras latitudes se extendió después de consumado aquél. En todo caso hubo después varios diluvios parciales. Le parece indiscutible la concordancia sorprendente entre los hechos geológicos más positivos y los relatos del Génesis.

Los terrenos primitivos de la primera época los dividía Boubée en dos tramos, el inferior o de los granitos (*A*), compuesto de granitos macizos (1) y gneis (2), y superior o de las micacitas (*B*), compuesto de los pisos de micacitas (3), filadíos (4) y calcíferas (5). La segunda época abarca el grupo de la grauwacka (*C*), o de los terrenos intermedios, compuesto de los pisos de pizarras y grauwackas (6), caliza de montaña (7), vieja arenisca roja (8), grupo hullero (9) y pizarras bituminosas (10); el de los terrenos secundarios en arenisca abigarrada (*D*), compuesta del zechstein y areniscas vosguenses (11), arenisca abigarrada (12), muschelkalk (13), margas irisadas (14); grupo de la oolita (*E*),

ÉPOQUES.	FORMATIONS PRINCIPALES dénommées d'après la roche la plus caractéristique	SUBDIVISION des TERRAINS EN 27 GROUPES, formant ensemble l'échelle géognostique	TERRAINS.
4. ^e Époque	Post-diluvium.	I { 27. Groupe alluvien récent. 26. Post-diluvium, sicil. et toul.	Post-dil. Diluv.
	Diluvium.	H { 25. Gravier diluvien.—Blocs erratiques.	
3. ^e Époque.	Calcaire grossier.	G { 24. Groupe du calcaire d'eau douce supérieur. 23. Groupe du calcaire grossier parisien.	Terr. tert.
	Craie.	F { 22. Craie blanche. 21. Craie tufau et grès vert. 20. Groupe wealdien et néocomien.	
2. ^e Époque.	Oolithe.	E { 19. Groupe port-landien. 18. Groupe oxfordien. 17. Grande oolithe. 16. Oolithe inférieure. 15. Lias.	Terrain secondaire.
	Grès bigarré.	D { 14. Marnes irisées. 13. Muschelcalc. 12. Grès bigarré. 11. Zechstein et grès vosgien.	
1. ^{er} Époque.	Grauwacke.	C { 10. Schiste bitumineux. 9. Groupe houiller. 8. Vieux grès rouge. 7. Calcaire montagne. 6. Schiste et grauwacke.	Terr. intern.
	Micaschiste.	B { 5. Groupe des calciphyres. 4. Groupe des phyllades. 3. Groupe du micaschiste.	
	Granite.	A { 2. Gnéiss. 1. Granite massif.	Terr. primitif.

Sistema estratigráfico de N. Boubée

compuesto de lias (15), oolita inferior (16), gran oolita (17), grupo oxfordiense (18) y grupo portlandés (19), y la creta (*F*), compuesta de grupo wealdense y neocomiense (20), creta tobácea y arenisca verde (21) y creta blanca (22).

La tercera época de Boubée, de los terrenos terciarios o de la caliza basta (*G*) estaba compuesta del grupo de la caliza basta parisiense (23) y del grupo de la caliza de agua dulce superior (24). Y, finalmente, tenemos la cuarta época, dividida en diluvium (*H*), con sus cantizales diluvianos (25) y bloques erráticos, y el post diluvium (*I*), dividido en post diluvium siciliano y tolosano (26) y grupo aluviano reciente (27).

Insiste mucho Boubée en llamar la atención del Estado, y de los agricultores, sobre la posibilidad de la corrección de las características de los suelos y la necesidad para ello de los conocimientos geológicos, y tiene publicadas algunas obras dedicadas exclusivamente a este objeto.

Fué editor de esta obrita Elofée, el famoso naturalista y proveedor de colecciones, que suministró algunas a nuestra Escuela de Minas. En este libro todo nos resulta más claro, preciso, inteligible; los conocimientos geológicos se van clasificando y sedimentando. La clasificación usada ya nos es familiar.

No podemos dejar tampoco en olvido las «Lecciones de Geología», de D. Francisco de Luxán, publicadas en 1841, que constituyen una explicación clara y metódica de la geología, a la altura de los adelantos de aquella época. D. Francisco de Luxán fué más tarde presidente, primer presidente, de la Comisión del Mapa Geológico, y su entusiasmo por las Ciencias Naturales, sobre todo por la Geología, fué extraordinario.

Y así llegamos a 1847, año en que aparecen los «Elementos de Geología», del famoso geólogo Ch. Lyell, traducidos

por D. Joaquín Ezquerro del Bayo y adicionados por él con algunas consideraciones sobre los terrenos de España, impreso en Madrid en 1847, en la imprenta de D. Antonio Yenes.

Como dice el traductor, fué el primer tratado de geología publicado en idioma español, y como es lógico su influencia tuvo que ser enorme, no sólo por ser el primero, sino también por la aureola de prestigio que rodeaba a su glorioso autor. Tres son los motivos que explica Ezquerro del Bayo para justificar su elección, y son los siguientes: 1.º Por ser la obra de Lyell el primer tratado universal de geología. 2.º Porque su teoría de la Tierra es la más clara y moderna y la que con más perfección explica y se ajusta a los hechos observados. 3.º Porque su nomenclatura ha sido aceptada, y se ha extendido, universalmente.

No vamos a llegar tan lejos como a afirmar que la aparición del libro de Lyell en castellano es el hecho que originó la terminación de la primera época de la geología española, para dar origen a la segunda y brillantísima que empezó con Casiano de Prado, y contó entre sus figuras máximas a Mallada, Vidal, Adaro, Palacios y tantos otros. Pero tampoco fué una mera coincidencia que la evolución y desarrollo de los conocimientos geológicos permitiesen que poco más tarde se fundase la primera Comisión del Mapa Geológico. Es que la geología española salía de su infancia y con un estirón de rápido crecimiento se plantó en su brillante y fructuosísima mayoría de edad.

Como dice Ezquerro del Bayo en su prólogo, y empleando sus mismas palabras, después de las exposiciones de Lyell ya no hay necesidad de recurrir a la suposición de grandes cataclismos, ni de períodos de muerte y aniquilación repentina de cuanto existía sobre la superficie de la Tierra; casi la totalidad de los fenómenos que se observan

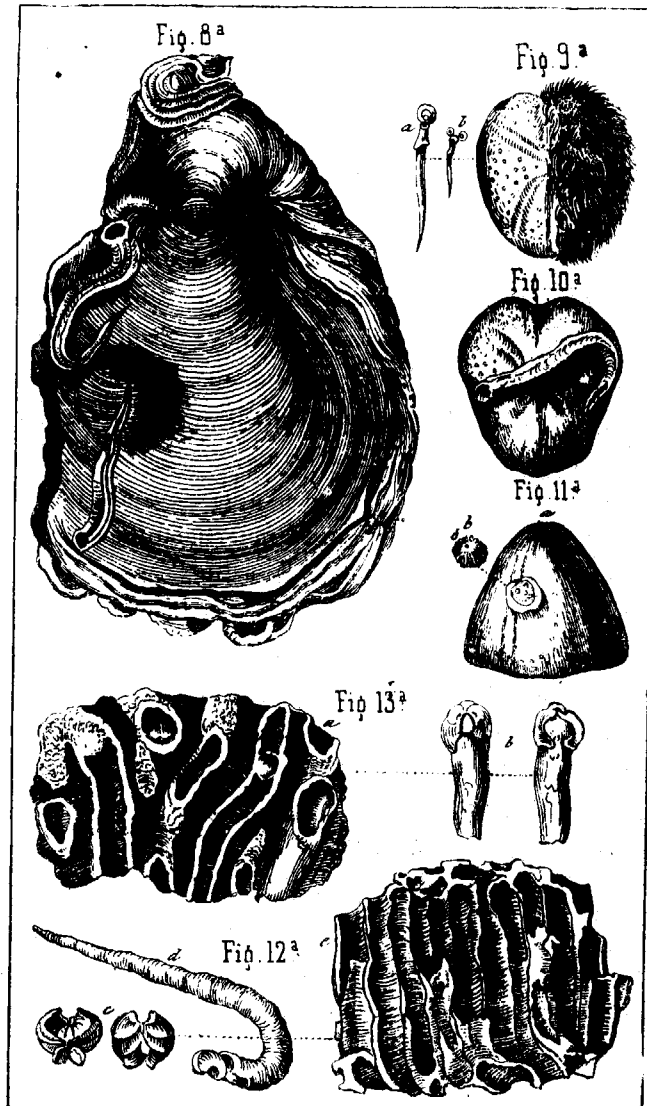


Lámina de los «Elementos de Geología», de Ch. Lyell, referente a materias paleontológicas

en la corteza de nuestro globo, tanto con respecto al trastorno de las rocas que la constituyen, como con respecto a los restos de seres organizados que en ellas hay encerrados, se explican muy bien por la marcha natural de las mismas causas que están obrando en la actualidad; lo mismo que pasa ahora ha estado pasando hace muchísimo tiempo. La geología ha perdido todo lo que tenía de fabuloso e inconcebible, adquiriendo una sencillez que no por eso deja de ser más admirable y más sorprendente.

Consta esta obra de dos partes: en la primera se estudian, en once capítulos, cuestiones de petrografía, para lo cual se dividen las rocas en cuatro grupos: sedimentarias, volcánicas, plutónicas y metamórficas. En relación con las rocas sedimentarias se describen los procesos de sedimentación y petrificación y se estudia la diferenciación de facies. Se analizan las causas por las cuales las capas pierden su horizontalidad original y se expone la teoría del repliegamiento por movimientos laterales, de acuerdo con las experiencias de Hall. Los fenómenos de denudación y la producción de terrenos de aluvión son descritos en otro capítulo. El resto de la primera parte se emplea en el estudio y descripción de las rocas volcánicas, de las plutónicas, tipificadas por el granito, y de las metamórficas. La segunda parte está dedicada al estudio de la cronología de las rocas en general, en que después de criticar las nomenclaturas y divisiones existentes hasta entonces, exponiendo sus deficiencias, justifica la nueva ordenación adoptada, con los siguientes razonamientos:

Ya hace mucho tiempo, desde que la idea de Hutton acerca del origen ígneo y metamórfico de muchas rocas se impuso con carácter de evidencia, que se sabía que las rocas volcánicas y plutónicas se podían producir en épocas diversas y sucesivas; también se hablaba de que había grani-

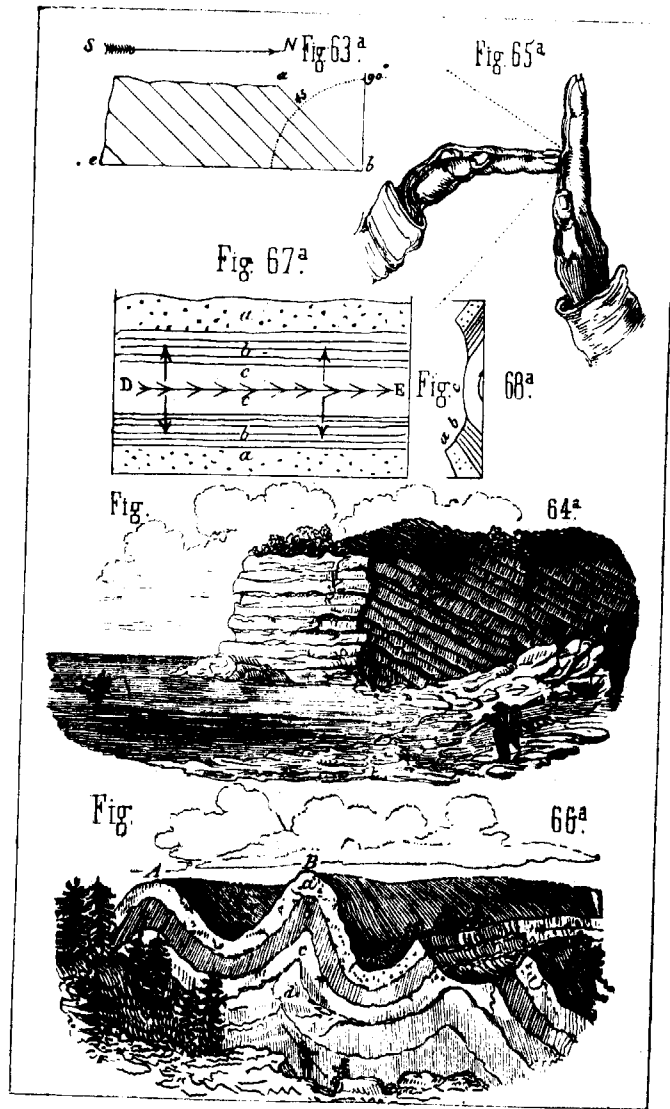


Lámina de los «Elementos de Geología», de Ch. Lyell, referente a materias de tectónica

tos más modernos que las formaciones secundarias. No obstante se insistía, sin aclarar el concepto, en denominarlas primitivas, dando un carácter de accidentalidad a las excepciones, lo que tendía a disminuir la importancia de los granitos modernos como fenómeno geológico. También se conservaba la denominación de *terrenos de transición*, a pesar de saber que su primera aplicación era defectuosa y ocasionaba después gran confusión. Werner creó aquella denominación como carácter petrográfico entre el estado metamórfico y el que ordinariamente presentan las rocas fosilíferas. Pero por la aplicación que de dicho término se hizo, basada en observaciones locales de valor muy particular y limitado, adquirió desde el primer momento un sentido cronológico que introdujo luego grandísima confusión en la descripción de las zonas de alguna complicación tectónica. Es esto consecuencia, dice Lyell, de que en la ciencia geológica los trabajos están siempre más adelantados que el lenguaje. La marcha de la observación avanza con tal rapidez, que los progresos en la teoría corren más que los cambios en la nomenclatura, y el propagar verdades nuevas valiéndose de términos inventados para expresar una opinión diferente y aun quizás enteramente opuesta, tiende siempre, por la fuerza de asociación, a perpetuar el error; de modo que ciertos dogmas condenados ya por la razón, conservan, sin embargo, todavía gran influencia sobre nuestra imaginación. Estos comentarios de Lyell resultan ahora tan verdaderos y actuales como en la época que los expresó.

De acuerdo con estos criterios, estableció Lyell para los estratos fosilíferos esta división, que se ha conservado invariable desde entonces en sus líneas esenciales. Proponía Lyell dos agrupaciones distintas, que son las que expresamos a continuación:



Grupo terciario..	1. Postplioceno, incluso los del período humano	} Postplioceno y terciario.
	2. Plioceno moderno	
	3. Plioceno antiguo	
	4. Mioceno	
	5. Eoceno	
Grupo secundario	6. Creta	} Cretáceo.
	7. Arenisca verde	
	8. Wealdiano	
Grupo fosilífero primario (o de transición de algunos autores)	9. Oolita superior	} Oolítico.
	10. Oolita intermedia	
	11. Oolita inferior	
	12. Lías	
Grupo fosilífero primario (o de transición de algunos autores)	13. Arenisca moderna roja superior y muschelkalk	} Rojo moderno superior.
	14. Arenisca moderna roja inferior y caliza magnesiana	
	15. Hullá	} Rojo moderno inferior y carbonífero.
	16. Arenisca roja antigua y devoniano	
Grupo fosilífero primario (o de transición de algunos autores)	17. Siluriano superior	} Fosilífero primario.
	18. Siluriano inferior	
	19. Cambriano y Estratos fosilíferos antiguos	

Terminan los Elementos de Geología con una descripción de cada una de estas divisiones, en que se hacen notar las particularidades litológicas y paleontológicas, así como las características regionales y locales.

Explicaba esta obra, como texto de Geología en la Escuela de Minas, D. Rafael Amar de la Torre.

Este es, pues, el libro cuyo centenario queremos recordar y en el que encontramos todos los elementos necesarios para el desarrollo de la geología moderna. Es, por consiguiente, natural que pudiera ejercer gran influencia en su crecimiento, y así fué, en efecto, en el mundo entero y también en España.

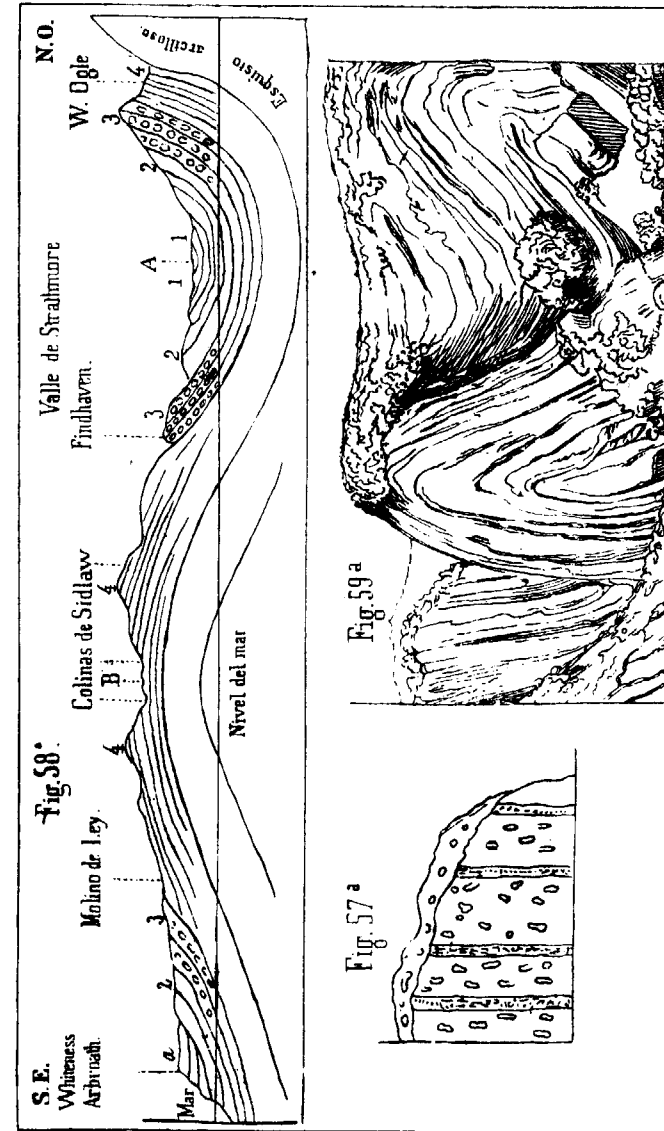


Lámina de los «Elementos de Geología», de Ch. Lyell, referente a materias de tectónica.

A partir de entonces aparece en nuestra profesión el geólogo como especialista. Hemos visto cómo en los trabajos de los primeros geognostas las consideraciones geológicas constituyen más bien un artificio en que engarzar los datos acerca de la minería y riqueza mineral conocida, por cierto muy completos, interesantes y dignos de revisión. Pero en 1849, por Real Decreto de 11 de julio, que firmó la Reina Isabel II a propuesta de D. Juan Bravo Murillo, se fundó una «Comisión encargada de formar el Mapa Geológico de la provincia de Madrid y el General del Reino», presidida por D. Francisco de Luxán, Brigadier de Infantería, y de la cual D. Casiano de Prado era Vicepresidente. Esta Comisión fué la «madre» de nuestro actual Instituto Geológico y Minero de España, de modo que la fecha de su creación es, en realidad, la de nacimiento de nuestro Centro. Por eso merece que se le dedique atención especial, y en estas modestas líneas queremos recordarlo, no ya para que no pase inadvertido, sino para que aun con tiempo suficiente, pero mucho menos que sobrado, se conmemore con la debida y merecida solemnidad.

Esperamos que con esta ocasión se reúnan todos los antecedentes, se estudie y analice la evolución de aquella institución, sus resultados, se haga memoria y se honren los nombres ilustres que le dieron gloria que rebasó las fronteras. Nuestro modesto recordatorio ha procurado informar, si bien sea muy a la ligera, sobre cuál era el ambiente y la preparación «geognóstica» que hicieron posible dar el paso de la creación de la Comisión del Mapa.

No piense nadie que con las obras antes citadas se completa la historia de la contribución española de aquel tiempo al conocimiento geológico de su país y al adelanto de la ciencia en general, ni muchísimo menos. Es enorme la cantidad de trabajos publicados que tratan más o menos direc-

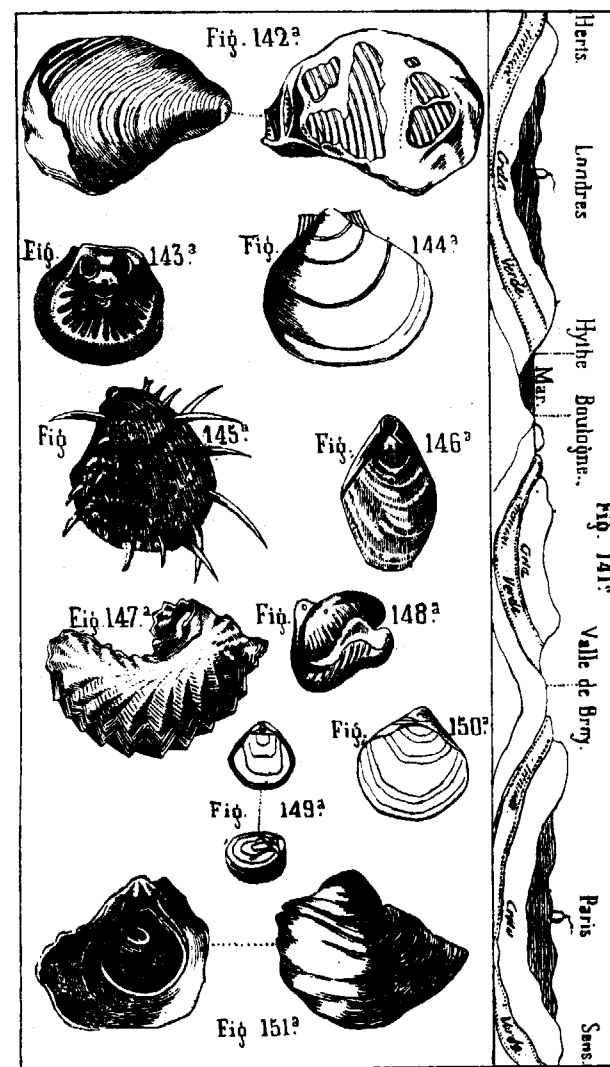


Lámina de los «Elementos de Geología», de Ch. Lyell, referente a las formaciones de la creta

tamente los temas geognósticos. Muchos de ellos eran descripciones de viajes, tan a la moda entonces, en que trataban todos los temas de geografía, historia, arte, botánica, costumbres y, entre ellos, estaban descripciones de rocas, petrificaciones, volcanes e incluso geológicas regionales. Otros, en cambio, tenían objeto exclusivamente geológico y geográfico. Un Ingeniero benemérito, D. Manuel Fernández de Castro, recogió en sus «Notas para un estudio bibliográfico sobre los orígenes y estado actual del Mapa Geológico de España», todos los antecedentes de la investigación geológica en España con anterioridad a la publicación del primer tomo del «Boletín de la Comisión del Mapa», aparecido en el 1874. Es modelo de investigación bibliográfica, minuciosa, detallada y comentada; de valor inapreciable para nuestra historiografía geológica. Nosotros procuramos, en breves páginas, crear una imagen rápida, esquemática, de la evolución que Fernández de Castro con tanto detalle desmenuza. Y hemos simbolizado esa evolución en unos cuantos libros de geología, de los que nuestros antecesores estudiaron, eligiendo para ello, como su índice más claro, la de los sistemas y cuadro de clasificación de las formaciones geológicas.

Fueron Casiano de Prado, Aldama, Aranzazu, Naranjo y Garza, Schulz, Pellico y Botella los primeros Ingenieros que, especializados en geología, contribuyeron a formar el Mapa Geológico Nacional e iniciaron con la de Madrid, de Casiano de Prado, la serie de memorias y mapas provinciales que tan alto prestigio alcanzaron con sus firmas y con las de Mallada, Mac Pherson, Cortázar, Palacios, Vidal y tantos otros.

Y es de justicia recordar también la contribución de los geólogos extranjeros al conocimiento geológico de nuestro país. Aunque existían abundantísimos trabajos geognósticos y mineros hechos por geognostas de otros países con anteriori-

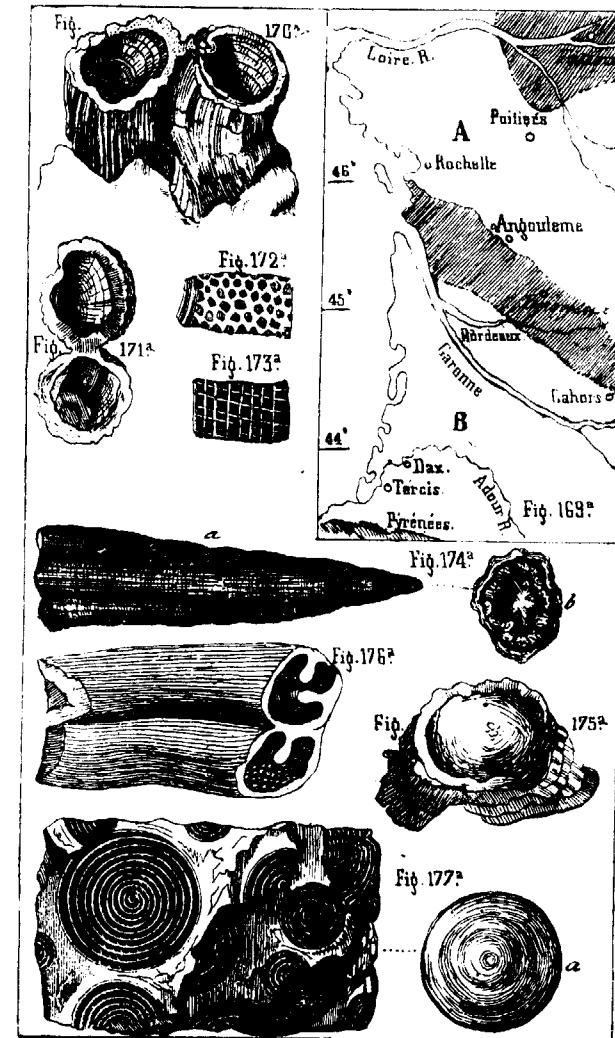


Lámina de los «Elementos de Geología», de Ch. Lyell, referente a las formaciones del SO. de Francia

dad a los estudios de Verneuil y Collomb, se puede ofrecer a estos dos ilustres geólogos, con los que nuestra ciencia geológica tiene contraída deuda de gratitud, como típicos ejemplos de aquellos que, manteniendo una contribución seria y sostenida, tanto han participado en el conocimiento geológico de nuestro país.

Puede ofrecerse como obra ejemplar de esta colaboración su trabajo denominado «Noticia sobre la estructura geológica de España. Ensayo de una explicación general de su mapa», aparecido en 1850 en Edimburgo, o su «Coup d'oeil sur la constitution géologique de plusieurs Provinces de l'Espagne», publicado en 1853 por la Sociedad Geológica de Francia en su famoso Boletín, ilustrado por preciosos cortes geológicos y láminas paleontológicas.

Es necesario, sin embargo, recordar otro anterior, y que es quizá la primera síntesis geológica de la Península Ibérica y al mismo tiempo la primera contribución de la famosa Academia de Göttingen, que tan valiosísima aportación al conocimiento geológico de España en los tiempos modernos ha hecho a través de Stille y su escuela. Nos referimos al trabajo de J. F. L. Haussmann titulado «Constitución geológica de España», que apareció en la publicación periódica titulada «Göttingische Gelehrte Anzeigen», en diciembre de 1829. Desgraciadamente no hemos podido consultar la obra original y nos hemos tenido que contentar con la lectura de un resumen en francés, aparecido en los «Annales de Mines», II.º S.º, Tome VII, París, 1830. Es un estudio geográfico, geológico y climatológico de nuestro país, de grandísimo interés y gran detalle y perfección, para su época.

La obra citada de Haussmann es el punto inicial, tras las contribuciones de la primera época, de una serie de brillantísimos trabajos ejecutados por franceses, holandeses y alemanes, sobre todo, y que constituyen una contribución que

dura aún en nuestros días. Su influencia es doble, no sólo por los conocimientos que aportan, sino por la que ejercen sus métodos de trabajo y sus estilos de escuela.

Como resultados de los acrecentados conocimientos sobre nuestra Península, que Verneuil, Collomb y De Lorient resumieron en su «Note sur les progrès de la Géologie en Espagne», aparecido en 1855, es posible ya la aparición de trabajos geológicos de conjunto con detalle superior, como fué el «Ensayo de una descripción general de la estructura geológica del terreno de España en la Península», compuesto en 1856 por D. Joaquín Ezquerro del Bayo, y que fueron concretando en forma visible en los mapas geológicos del conjunto de la Península, de Ezquerro del Bayo de 1850, Amalio Maestre de 1863, Verneuil y Collomb de 1868 y el de Botella de 1879, como precursores de los más completos y modernos de la Comisión del Mapa.

Esto fué posible merced a la extraordinaria actividad de la recién fundada Comisión del Mapa Geológico, porque, ya en 1854, estaban muy adelantados los estudios para las descripciones provinciales de Guadalajara, Toledo, Cuenca, Ciudad Real, Albacete, Segovia, Avila, Valladolid, Palencia y León, y se había publicado la de Madrid, sin contar con los abundantísimos datos de todo orden, más antiguos, que existían de todas las regiones, sobre todo las mineras.

Pero ya hemos rebasado sobradamente el objeto que nos proponíamos al escribir estas mal pergeñadas páginas, en que hemos intentado, con estilo impresionista, crear en pocas y gruesas pinceladas de vivo colorido, una imagen del cuadro de la geología española hasta 1847, prescindiendo de la precisión de los contornos.

No quisimos sino recordar que ahora hace cien años se publicó la primera traducción española de los «Elementos de Geología», de Lyell, que fué, al mismo tiempo, la primera

MEMORIA

QUE COMPRENDE

EL RESUMEN DE LOS TRABAJOS VERIFICADOS EN EL AÑO DE 1850

POR LAS DIPUTACIONES SELECCIONADAS

DE LA COMISION ENCARGADA DE FORMAR EL MAPA GEOLÓGICO

DE LA PROVINCIA DE MADRID

Y EL GENERAL DEL REINO,

presentada el 4 de febrero de 1851

AL EXCMO. SR. MINISTRO DE FOMENTO

POR

DON FRANCISCO DE LUJAN,*Brigadier de infantería, y Presidente de la Comisión.***MADRID:**

IMPRENTA Y FUNDICION DE DON EUSEBIO AGUADO.

1852.

Reproducción de la portada de la primera Memoria que publicó la «Comisión encargada de formar el Mapa Geológico de la provincia de Madrid y el general del Reino» tres años después de su fundación

obra de carácter universal aparecida en nuestro idioma sobre este tema. De paso, procuramos trazar, en algunos rasgos, el origen de los estudios geológicos en este país y su desarrollo hasta ese momento, así como señalar cuáles eran los rumbos que quedaron marcados a partir de él, una vez que, creada la Comisión del Mapa Geológico en 1849, se puso la primera piedra de este edificio tan nuestro y que tanto amamos, que ahora es el Instituto Geológico y Minero de España.

Recordemos, finalmente, a los que por su cuenta quieran buscar antecedentes de los trabajos antiguos o notas biográficas de sus autores (cosa muy entretenida, que no sólo proporciona ratos y sorpresas agradables, sino también de cuando en cuando, algún dato muy útil), que existen dos obras utilísimas de recopilación: una de ellas la antes citada de Fernández de Castro en el primer tomo del Boletín; otra, la «Bibliografía Mineral Hispano Americana», de E. Maffei y R. Rua Figueroa, publicada en 1872, y que constituye un verdadero tesoro de información acerca de obras y autores anteriores a esa fecha. En estas dos obras, y en la Memoria que Maffei compuso para el Centenario de la Escuela de Minas, se puede decir que se encuentra todo el historial antiguo de nuestro Cuerpo de Minas y la huella de los trabajos y personalidad de nuestros antecesores en la afición geológica.

J. M. Ríos.

AHORA HACE CIENT AÑOS..... (EPÍLOGO)

Las raíces de nuestro Cuerpo de Ingeniería tienen ya cien años en las Ciencias geológicas, origen de la minería organizada. Pero a este siglo silencioso, como a todas las centurias de trabajo heroicamente manso, le falta la campana, el alborotado estímulo.

Es justa la voz de alegría, airón, si no de orgullo, al menos de ufanía al abarcar lo que fuimos y sentir vivas, voluntariosas, las fuerzas para seguir sosteniéndolo.

Somos pocos los viejos que, conociendo a Mallada, Vidal, Cortázar, Almera, Barrois y a los amigos de Schulz, aun llegamos a los recuerdos vivos de Prado y Ezquerria del Bayo... Pero al unirme a esta empresa suplico a todos los *nuestros*, a los que sientan el afán por la geología española, den a conocer aquello que suprima la inadvertencia, corrijan el olvido o la fantasía y, ¡más que nada!, acusen lo que descubran en la atalaya, augurios para nuevos triunfos.

Y esta paradoja de mirar hacia delante los más antiguos y al contrario, no sé si es de afán o de temor; pero como dudo, prefiero ir en epílogo, así como en minería el más antiguo va más resguardado.

NUESTROS ELEMENTOS Y LOS TRES JALONES

Somos pocos todos para reunir, bruñir los recuerdos y cuidar los fundamentos de la tradición.

En línea con los de Minas, que aportamos el punto de partida y el Mapa geológico, están la Universidad, la escuela catalana y los extranjeros, de diversas clases, atraídos: por trabajos iniciados por ellos; por afán de llegar a lejanías menos conocidas para destacar más sus estudios, y, en fin, los conquistados por la tierra, aglomerados con nosotros a *lo ibérico* por la recia individualidad española, de tal modo, que Schulz pasa a ser nuestro, rinde su tributo como soldado en la guerra de la Independencia y expresándose en clásico castellano, muere como español rancio elevándose a Dios en Aranjuez, bien elegido descanso a una vida gloriosa y humilde. De Verneuil, aristócrata fino y un talento de coloso aplicado a la geología, sella pacto de amistad con don Casiano de Prado y se convierte en adalid de España, arrastra a insignes compañeros de su tiempo y antes de los estudios clásicos de Almadén, con Prado y Barrande, escribe con Collomb, en su «Coup d'œil sur la constitution géologique de plusieurs provinces de l'Espagne»: «Quelques personnes, peu familiarisées avec les progrès des sciences à l'étranger, s'imaginent que l'Espagne reste en dehors du mouvement scientifique, et, que la géologie, particulièrement, est tout à fait négligée. A leurs yeux, ce serait un champ inculte, une terre nouvelle, *terra incognita*, ou tout serait encore à découvrir. Rien n'est plus contraire à la vérité.» Bowles, célebre naturalista y *chímico* irlandés que, hacia 1750, recorre y reconoce, «de orden del Rey Nues-

tro Señor», las principales minas de España; Paillette, convertido en asturiano; Lyell, en la Cerdeña; Barrois, etc. Que la ciencia, como algunas plantas, languidece con exclusiones y ha de rodearse de la anarquía del aire, por encima de los cierres.

Los recuerdos se alborotan y atropellan sin edad, y hay que jalonarlos para dar lugar, si acertamos, a un orden que nos dé topografía para los sentimientos, que es el arte, y nos permita apreciar la trascendencia cultural, que nos haga ver de dónde nos vino y hacia dónde nos conducen las especulaciones, y estudios, de los que dieron el impulso y nos legaron el compromiso al que, plantando los pies, hemos de aferrarnos en su defensa y avance.

Que en las grandes afecciones, aunque sean de alegría, se ofrece una crisis para un trance de acierto, paso que impone una meditación, que deseamos marcar al menos en tres fases: recuerdo y unión de fuerzas, para utilizarlas mejor; apreciación, en historia reflexiva, de los valores y progresos anteriores, y mirada avizadora, que rectifique o insista en el gran rumbo de nuestro *Geologorum Conventum*.

PRIMER JALÓN: Hace falta formar el cuadro o proponer sistema de manifestación, porque de este propósito hondo de loar un triunfo, conducido en cien años, debe salir el mejor de continuar, *estudiando a conciencia*, como albaceas de escrupulo, el modo de lograrlo: que lleguen publicaciones de otros países, librándonos de la tortura de verlas de lejos; traer profesores acrisolados en su saber que formulen cursos; salir a buscar lo que, al regreso, ha de difundirse; en fin, pertrecharnos de eficacia, y que sigan, los que de verdad puedan, orillando favoritismos o sus ingerencias, aunque sean de espíritu, y sentidas con el mejor deseo; debemos unirnos todos y continuar unidos.

SEGUNDO JALÓN: La disposición de alturas relativas que deseáramos atribuir a los méritos para ofrecer la superficie de cultivo alcanzada y sostenida, ha de fijarse en el tiempo, y en su andar, desde que la densidad de estudios plasma en libros, publicaciones rítmicas y resultados, hasta el cumplimiento de la centuria, sin incluir a seres vivos, pues los contemporáneos han de conseguir sus galardones y entrar en el gran ámbito de la Serenidad, para merecer el juicio de la crítica en la cronología, a menos de surgir la genialidad, que sería centro de otro núcleo, fuera de tiempos tan largos de medida.

¿Este propósito de armar y proponer panoramas de la cultura que fué, equivale a una popularización? *Me temo* que ese será su sentido, y lo expreso así porque tengo, al menos para mi término medio, una mediana opinión acerca de las fáciles extensiones en las interpretaciones de ideas o descubrimientos.

La divulgación natural ha de extravasar la ciencia que se posea en tensión; de otro modo surge la máquina de vulgarizar, sin que gane nada la cultura patria, ni aun los conocimientos del pueblo. No tenemos que *invadir*, sino ayudar al buen periodismo.

TERCER JALÓN: Desde luego, los manantiales están bien elegidos; son dos, y no hay otros con amplitud de geología.

La bibliografía mineral de Maffei y Rua Figueroa (1872) y «Notas para un estudio bibliográfico sobre los orígenes y estado actual del Mapa Geológico de España», por don Manuel Fernández de Castro, Director de la Comisión del Mapa Geológico. Este trabajo, de 152 páginas, de letra menuda y apretada, el primero que figuraba en el «Boletín de la Comisión», fué bien pensado, nutrido de ciencia y recuerdos y con miras trascendentales que se cumplieron,

merecía ser nuevamente publicado, quizá con apostillas y continuación, pues, aparecido en momentos de oro para el Cuerpo de Minas y la Ciencia geológica aplicada (1874), acompañó la publicación en treinta y siete años, hasta 1910, en que tomó la denominación de Instituto Geológico, y dieciséis años más tarde el de Instituto Geológico y Minero (1927), con referencia siempre a España; pero como en ninguno de los dos cambios se han alterado esencialmente las publicaciones, ni el deseo de considerar al Mapa geológico español como eje fundamental de su cometido, puede decirse que van setenta y cuatro años, hasta hoy, del espíritu del Cuerpo de Minas en el Mapa geológico de España, y es una satisfacción y motivo de sano orgullo poderlo decir así, pues las mutaciones de nombre, ni aun de vestimenta, no cambian a personas ni corporaciones que tienen abolengo y esfuerzo heroico en su formación.

La complejidad de las obras que se refieren a la Geología hizo que Fernández de Castro, para facilitar la enumeración de tantos escritos, los dividiese en cuatro períodos: comprende el primero desde los tiempos más remotos hasta mediados del siglo XVIII, en que el P. Feijoo (1735) y don Antonio de Ulloa (1718) lo cierran de una manera bien honrosa para España. El segundo período se refiere a los estudios que siguieron a los trabajos de Bowles (1735-52, conocimiento con Ulloa) y de Torrubiá (1755) hasta la iniciación de la Minería, con base científica, que vió brillar inteligencias tan privilegiadas como las de Thalacker, Cornide, Herrgen, Del Río, Angulo, Cavanilles y cuantos tomaron parte en los Anales de Ciencias Naturales, espejo de los conocimientos de aquella época. En el tercer período coinciden los trabajos de algunos geólogos franceses, que estudian los Pirineos y el Norte de España para formar la Carta Geológica de Francia, y los de varios sabios ingleses y alemanes que re-

corren el interior y las costas de la Península, con los muchos e importantes trabajos de los geólogos españoles Vallejo, Luján, Schulz, Prado, Ezquerro, Amar, Pellico, Naranjo, Maestre y otros del Cuerpo de Ingenieros de Minas, que, sin desatender las perentorias exigencias de una obligación preferente, estudiaron, sin embargo, el suelo de la Península de la manera que podían hacerlo; es decir, limitando sus observaciones a las comarcas en que prestaban sus servicios; este período se extiende desde el año de 1825 al de 1849, cuando empieza el cuarto y último con el nombramiento de la Comisión para formar el Mapa Geológico de Madrid, período el más importante de los que tenemos que considerar, porque durante él se han hecho los únicos trabajos que pueden apreciarse como definitivos para formar el Mapa geológico de España.

Dejamos por ahora las antiguas épocas, con los gloriosos recuerdos de los estudios de las Indias, Hernández, Cavanielles, Argensola, Martras, etc.

Cuadros representativos

En realidad, pues, hay que considerar con atención el tomo I (1874, B. C. M. G. E.) como arranque.

El presidente de la Sección Inspectorá era el eminente mineralogista don Felipe Naranjo Garza, y el de la Comisión del Mapa, don Manuel Fernández de Castro, con brillante plantel de Ingenieros de Minas a sus órdenes: Donayre, Botella, Monreal, Cortázar y Mallada. El momento

era solemne; aparecía el nuevo boletín como brillante cometa, uniéndose a otras publicaciones que habían de continuar acompañándole: Los Anales de Minas (1838), prolongados después en la Revista Minera (1849), sostenida por individuos del Cuerpo de Minas, y los Boletines de Historia Natural (1871) y de la Real Academia de Ciencias, en la cual ya publicaba Ezquerro del Bayo en 1850, entidad a la cual pertenecieron, como académicos, los excelentísimos señores:

- 1847. Joaquín Ezquerro del Bayo; m. 3 (A. fundador).
- 1847. Amar de la Torre; m. 14 (electo fundador).
- 1857. Felipe Naranjo; m. 33.
- 1862. Ramón Pellico; m. 7.
- 1866. Casiano de Prado; m. 30.
- 1869. Luis de la Escosura; m. 26.
- 1878. Fernández de Castro; m. 7.
- 1884. Federico Botella; m. 33.
- 1884. Daniel de Cortázar; m. 11.
- 1897. Lucas Mallada; m. 7.
- 1900. Pedro Palacios; m. 9.
- 1904. Rafael Sánchez Lozano; m. 30.
- 1922. Florentino Azpeitia; m. 7.
- 1933. Domingo de Orueta; m. 30.

En la pléyade de elegidos que se ofrecen de fines de la centuria 1700 al principio de la de 1900, no es fácil señalar las características del esfuerzo. Escribo lo que pensé y conseguí hace años. Se terminaba el actual Instituto Geológico y trataba de ofrecerse, a la entrada, nombres representativos y gloriosos en la geología, como saludo y propósito acogedor hacia todos los que, en esperanza, triunfo o siquiera deseo, se honrasen con esta disciplina de la Tierra.

Dos listas se imponían, derecha e izquierda, iniciadas por Ezquerria del Bayo, enunciador de la nueva era, y Mallada, gigante en su tiempo. Era preciso, para la estimación del mérito, la monda escrupulosa de oropeles y falsos niveles geológicos. La vida de los excelsos saludadores había sido heroica, condición difícil de separar de la pasión, y más en ejercicio tan duro como el estudio de la Naturaleza, y así, de trabajo esforzado, debía ser la unidad, y esa medida de *tomos heroicos*, libros de la clara especulación, sin arreglos ni divulgaciones, nos sirvió para fijar esos cuadros de magnífica y saludable recepción.

Sólo constan en ellos: su α y ω igualatorios, en orden cronológico y el mérito, tasado, que representa su inclusión.

CUADRO ANTIGUO (DERECHA) I

J. Ezquerria del Bayo (m. 3)	1793 — 1859
Casiano de Prado (m. 30)	1797 — 1866
Guillermo Schulz	1800 — 1877
Felipe Bauzá	1801 — 1875
Amalio Maestre	1812 — 1872
Federico Botella (m. 33)	1822 — 1899
M. Fernández de Castro (m. 7)	1825 — 1895
F. Martín Donayre	1825 — 1890
Luis N. Monreal	1830 — 1884
Justo Egozcue	1830 — 1900
A. Gil y Maestre	1837 — 1915
J. Gonzalo Tarín	1838 — 1910
Manuel Pato	1838 — 1916

CUADRO MAS MODERNO (IZQUIERDA) II

Lucas Mallada (m. 7)	1841 — 1921
L. Mariano Vidal	1842 — 1922
S. Thos y Codina	1843 — 1911
Daniel de Cortázar (m. 11)	1845 — 1927
Pedro Palacios (m. 9)	1847 — 1921
E. Abella y Casariego	1847 — 1913
R. Adán de Yarza	1848 — 1917
Luis de Adaro	1850 — 1915
G. Puig y Larraz	1851 — 1917
R. Sánchez Lozano (m. 30)	1854 — 1922
César Rubio	1858 — 1931
Florentino Azpeitia (m. 7)	1850 — 1924
Domingo de Orueta (m. 30)	1862 — 1926

El cuadro viejo ocupa algo más de un siglo y algo menos el de la derecha, doscientos años de infatigables estudios.

Cuadro I (1763-1916)

EXCMO. SR. D. JOAQUÍN EZQUERRA DEL BAYO (1793-1859).

De muy clara inteligencia fué, en el medio distinguido en que se movió: Inspector General de Minas, profesor de Geología, de Laboreo y de Mecánica aplicada en la Escuela Especial del mismo Cuerpo; miembro de diversas Sociedades científicas y autor de obras y de trabajos industriales importantes. Recibió del Gobierno de la Reina niña (1847), por Real Decreto, la distinción de ser nombrado académico fundador de la Real Academia de Ciencias, principiando los estudios de un «Ensayo de una descripción general de la estructura geológica del terreno de España en la Península», en tres *secciones* de otras tantas partes, del 1850 al 57. Complemento de las «Indicaciones geognósticas sobre las formaciones terciarias del centro de España» (Anales de Minas, tomo III, 1837-45), correspondiente al «Cuenca del Duero», de la revista alemana «Neues Jahrbuch für Mineralogie und Geologie» (1837) y de «On the Geology of Spain» (Quart Journ. Geol. Soc., t. VI, 1850). Que en conjunto le acreditan de primer geólogo español con gran amplitud de miras al abarcar y exponer las unidades geográfico-geológicas. En ese mismo año 1850 da cuenta detallada, en el tomo I de la Revista Minera, de una «Excursión de Hiendelaencina a Trillo y Ablanque, en la Alcarria y Guadalajara», demostrando que podía conducir, paso a paso, un fino análisis estratigráfico. Marcó, para honra de España, las apreciaciones de gran profesor.

Fué amigo de Murchison, quien le facilitó su manuscrito de «Silurian System» antes de salir de la imprenta, y le sir-

vió para apoyar, en sus apostillas españolas a la obra de Lyell, algunas interesantes exposiciones, como la del siluriano superior en la zona de Almadén. Sólo queremos sentar recuerdos de sucedidos y suposiciones de encadenados estudios y sentimientos, que esfumen, *sin detallar*, un movedido camino de tiempos dorados, los cuales parezcan vivir, para ejemplaridad de estos otros, no tan heroicos, pero sí difíciles.

DON CASIANO DE PRADO (1797-1866).

Don Casiano de Prado nació en 1797, en Santiago, y se formó en el ambiente de libertad, de inteligencia y espíritu que siempre fué galardón de la Universidad compostelana. Organizador y combatiente formidable, corrigió, quizá demasiado enérgicamente, la situación de Almadén, y dirigió la obra de don Manuel Fernández de Castro, tanto al fundar el Mapa Geológico como en sus publicaciones de Cuba, dándole instrucciones que eran obedecidas escrupulosamente, excepto en el consejo, quizás algo humorístico, de que se casase con la entonces joven doña Mariquita, porque tenía dos casas en la Puerta del Sol.

Debo estos datos a la interesante correspondencia sostenida por ambos geólogos, la cual, heredada graciosamente de nuestro eminente compañero de Academia don Rafael Sánchez Lozano, he cedido a nuestro Instituto.

De 1852 al 54 publicó notas referentes a la provincia de Madrid en la Sociedad Geológica de Francia; pero la Memoria modelo no apareció hasta 1864.

Los primeros trabajos acerca del paleozoico los realizó en Luarca; hace los recorridos de Avila, Segovia. León y, con motivo del descubrimiento de la fauna primordial ex

la Cordillera, publica, con De Verneuil y Barrande, un precioso librito (1860). Las circunstancias de estos primeros descubrimientos de fósiles en la Cordillera dan lugar a una hermosa página de ingenuidad y nobleza entre algunos de los mejores geólogos de su tiempo: Prado, De Verneuil y Barrande; Prado emprende un camino, suponiéndose siempre en Devoniano; la determinación de los fósiles le hace rectificar y sella, de por vida, en los estudios españoles, la elevada y fraternal amistad de los tres sabios.

Su estudio clásico, sillar de la ciencia geognóstica hispana, fué «Mémoire sur la Géologie d'Almadén, d'une part de la Sierra Morena et des montagnes de Tolède» (1855), con el cual y las listas paleontológicas, corregidas por De Verneuil y Barrande, sobre los fósiles de Prado, se funda la estratigrafía paleozoica de la península.

Su fibra fué asombrosa: a los cincuenta y cuatro años (1851) empezó sus estudios en Madrid y realizó su primer viaje a París y Londres. Su fama ciertamente nos fué impuesta, pues antes de que España conociese sus dotes, eminencias de su tiempo le tenían por compañero: De Verneuil, Barrande, Murchison..., mientras que en Galicia, en obras gallegas de recopilación, «El viajero en la ciudad de Santiago» (1863), no se menciona a don Casiano de Prado. Por eso y por Galicia le quiero hacer lucir, siquiera en un relámpago.

¡Queda tanto trabajo por exponer, tantos puntos por aclarar en esta vida admirable, que obligadamente hay que esperar ocasión y pluma adecuada, para continuarla entonces!

DON GUILLERMO SCHULZ (1800-1877).

Hecho español desde que pisó la península a los diecinueve años, nacionalizado después, soldado en Ribadeo, colabora con la Junta y presenta, a su primer mandato, la «Descripción Geognóstica del Reino de Galicia» (1834), con su mapa, «Primer bosquejo geológico que se ha publicado de una parte considerable del territorio de la península».

En nueve años, y teniendo ya cincuenta y tres, terminó su monumental mapa topográfico en Asturias, al mismo tiempo que ofrecía (1858) la «Descripción geológica de Asturias (1858), rematando los estudios (1829) de la Comisión: Ezquerria del Bayo, Amar de la Torre, Bauzá y Sales García, «Minas de carbón del principado de Asturias», con su plano.

Schulz señala los arcos hercinianos de Asturias y lleva su inteligente bondad sobre todas las relaciones y proyectos del Cuerpo de Minas, sin recordar, con nostalgia, el «Glück Auf» de los antiguos mineros. Con el título «De la Geología heroica» hemos presentado, en el Congreso para el Avance de las Ciencias, de San Sebastián (1947), un relato acerca de este notable y esforzado geólogo, uno de los principales organizadores de la minería asturiana y aun de toda la minería oficial.

A la altura de estas cortas cuartillas comprendemos la obligada rapidez en el comentario para no deformar más nuestra contribución al centenario de la enseñanza de la geología española. Si llegasen otros tiempos, y con ellos la calma de rebusca y análisis, estaría justificada una ordenada relación histórica mezclada con el anecdotario que aun vive en los recuerdos.

FELIPE BAUZÁ (1801-1875).

Del 74 al 75 publica «Las reseñas geológicas de Gerona, Tarragona y Lérida».

AMALIO MAESTRE (1812-72).

Publica el 76 la reseña geológica de Navarra y de las provincias Vascongadas, con su mapa 1 : 500.000, y muchos trabajos del Norte de España y, en 1864, el Bosquejo de la provincia de Santander.

FEDERICO BOTELLA (1822-1899).

En 1867, «Reseña de Murcia y Albacete». En 1882 publica «Reseña geológica de la provincia de Almería».

En 1877, «Apuntes paleogeográficos. España y sus antiguos mares» (Bol. Soc. Geográfica, t. I y II).

De 1884 a 85, «Sobre la alimentación y desaparición de las grandes lagunas peninsulares» (Ac. Soc. Esp. H. N., tomo XIII), con gran sentido de las modernas corrientes de la Geología. El mapa hipsométrico de España le valió ser premiado con medalla de mérito en la Exposición de Viena, y, en la de Ciencias Geográficas y Geológicas de París, con la única medalla de primera clase concedida a España. Sillón 33 de la Real Academia de Ciencias.

FERNÁNDEZ DE CASTRO (MANUEL) (1825-1895).

En 1872, «Descripción geológica de la Isla de Cuba».

Con posteriores estudios paleontológicos demostrativos de la unión de Cuba al continente americano.

Magnífica nota bibliográfica con que se inaugura el tomo I del Boletín de la Comisión del Mapa Geológico (1883), «Comisión del Mapa Geológico de España. Su origen, vicisitudes y circunstancias actuales». Muchos estudios referentes a este tema que le llevaron a Presidente de la Comisión, a la que enalteció y dió impulso. Medalla 7 de la Academia de Ciencias (1876). Sentía veneración por don Casiano de Prado, a quien consultaba en todos sus problemas.

F. MARTÍN DONAYRE (1823-1890).

1871, «Trabajos geológicos en Avila» (fin del estudio de Prado); 73, «Bosquejo de una descripción física y geológica de la provincia de Zaragoza»; 74, «Datos geológicos de la provincia de Guadalajara»; 79, «Descripción física y geológica de la provincia de Avila».

LUIS N. MONREAL (1830-1884).

«Datos geológicos acerca de la provincia de León recogidos durante la campaña 77 a 78»; Idem campaña 78-79; Idem campaña 79-80; Apuntes físicogeológicos (78) referentes a la provincia de Almería; 66, Estudio de los carbones de Velilla (León). Elemento muy activo en la confección de los mapas. Según Barrois no se puede comprender la cordillera sin los estudios de Monreal.

JUSTO EGOZCUE (1833-1900).

1875, «Nota acerca de la constitución del suelo de Arnedillo y explicación de un accidente que se supuso volcánico»; 78, «Memoria acerca de las minas y fábricas de Almadén», por el Ingeniero M. H. Kuss; 1833, «Catálogo de los fósiles presentados por la Comisión del Mapa Geológico en la Exposición de Minería celebrada en Madrid»; 1883, «Investigaciones sobre los terrenos antiguos de Asturias y Galicia», «Memoria geológico-minera de la provincia de Cáceres». Preciosa Memoria en la que luce Mallada por primera vez; 71, «Fosforitas de Cáceres».

A. GIL Y MAESTRE (1837-1915).

1874, «Datos geológicos mineros sobre algunos grupos de minas del Distrito de Madrid»; 75, «Depósitos de huesos de Castilla la Vieja y principalmente en la parte llamada Tierra de Campos y Santander»; 80, «Descripción física, geológica y minera de la provincia de Salamanca», con un plano a 400.000.

J. GONZALO TARÍN (1838-1910).

No se aleja mucho en su nacimiento de Fernández de Castro que le descubre pronto y sostiene su amistad, unida a la de Mallada y Cortázar, poco más jóvenes, y a los que debió tratar, aprendiendo en sus dudas, en los recorridos de Cáceres y Toledo. Madurando los datos reunidos empieza a escribir tarde, y su enorme obra, de escrupuloso

análisis en la literatura geológica española, se desenvuelve en unos diez años de su vida, de los cuarenta a los cincuenta, pues los últimos estudios, a fuerza de reunir meditaciones minuciosas, quedaron sin publicar.

Gonzalo Tarín fué destinado en 1867 a la provincia de Huelva y como resultado de sus primeros recorridos publicó en 1870 una carta geológico-minera. La Comisión del Mapa le encarga en 1876 que siga sus estudios en Huelva y empieza a separar *posidonomyas* y *graptolítidos*, menuda repetición que le asombra en la superficie perforada de asomos eruptivos que dificultan la separación de los terrenos.

En 1878 se une al insigne portugués Nery Delgado, y en un reconocimiento de la frontera se afirman, de acuerdo, acerca del siluriano superior en la Sierra Alta, demostrado por varias especies de *graptolítidos* hallados en término de Encinasola por Gonzalo Tarín (p. 311 de la Memoria).

Este encuentro paleontológico es punto singular en la vida de ambos geólogos que, desde entonces, se comunican los respectivos descubrimientos en las zonas de Huelva y Barrancos, donde los lentejones carbonosos de San Domingos dan a los isleos portugueses rumbo hacia el Devoniano, sin que hasta hoy se hayan señalado bien los límites del gotlandiense al infradevoniano, pero sí permitía afirmar a Gonzalo Tarín: «La importancia de tales restos estriba, probablemente, en sus relaciones de yacimiento con las ampelitas de *graptolitos* inmediatas a las pizarras de *nereites*, asociación que también se observa en San Domingos, localidad portuguesa allí inmediata, así como en el término de Barrancos, en el Alto Alentejo», con intuición magnífica, pues hasta el año 1914 no se ha demostrado el Devoniano en la localidad portuguesa.

Sus obras se gradúan así:

- 1878. Nota acerca de la existencia de la tercera fauna siluriana en la provincia de Huelva.
- 1878. Reseña en la provincia de Huelva.
- 1879. Reseña de la provincia de Badajoz.
- 1881. Reseña de la provincia de Granada

y después de otros varios estudios

1886-87-88 las tres partes Física, Geológica, Minera de la magnífica Memoria de Huelva.

Luego, durante mis primeras entradas en el Instituto, honrándome en escuchar a Cortázar, Adán de Yarza, Malla-da... y desaparecido nuestro geólogo, vi la parte microscópica que, con paciencia infinita, había preparado acerca de las rocas eruptivas de Huelva, gran volumen que se trataba de remozar con la técnica superior de Orueta. ¿Se sabe hoy dónde se encuentran el legajo y las preparaciones? ¿Habrán podido resistir a las tristes turbulencias y a los arreglos técnicos de archivos?

MANUEL PATO Y QUINTANA (1838-1908).

1882, «Descripción física, geológica y agrológica de la provincia de Valencia» (con Cortázar), «Descripción física de la provincia de Murcia».

Los estudios de esas dos Memorias han sido la base firme de los realizados después por Levante, hasta los modernos de los geólogos alemanes.

Conocí a este cultísimo Ayudante Facultativo de Minas

en Almadén, al empezar a ejercer mi carrera en aquellas minas. Era un anciano pulcro y de constante aspecto sereno y reflexivo, pues hacía tiempo estaba ciego y se perecía por conversaciones culturales, más apetecidas si se enfilaban hacia la geología valenciana. Solíamos celebrarlas, en el más alegre sentido, en la *Botica* de Blanco, en la rinconada de la plaza, de fácil paso a la salida del trabajo.

Variaban los contertulios; pero con frecuencia asistían los jefes de Minas señores Moyano, sumamente concienzudos y competentes en la explotación típica de aquel criadero, el gran Maestro de Obras Ramón León, don Ambrosio Carmona, lazarilló constante de Pato, y algún médico, además del señor Blanco y la frecuente sombra del antiguo y casi perenne Director señor Oyarzábal... Los recuerdos vivos fluían hasta don Casiano de Prado.

Inolvidable fase de mi vida que guardo con cariño y agradezco a lo mucho que aprendí rodeado de afecto. Me complazco en mi saludo al Cuerpo de Ayudantes Facultativos de Minas, de los cuales es honor la vida de don Manuel Pato.

Cuadro II (1841-1926)

LUCAS MALLADA (medalla 7) (1841-1921).

Gigante en su tiempo. Desde su «Memoria de la provincia de Cáceres», publicada en el 76 con Egozcue, su nombre trasciende y, abarcando todo el sector geológico, cubre, en dominio, las publicaciones de geología y paleontología: «Explicación del mapa geológico y catálogo de las especies fó-

siles»; jamás se vió un esfuerzo semejante, y su fama, con defectos o imperfecciones, acusados más que nada por el avance de la ciencia, acompaña todavía el recuerdo de su ingente obra, aún no igualada, ¡un siglo más allá de su nacimiento!

Desde Mallada ya se conocen todos los geólogos de este cuadro y no es preciso hacer citas de libros y estudios para saber cómo se destacaron, pues los tenemos a la mano, ofrecidos para salvar la solución de continuidad con los que hoy desean avanzar.

Con don Lucas hicimos excursiones por el Gotlandiense gallego; con don Luis Mariano Vidal pasamos varios días en Almadén; le acompañaban, en la Comisión de Reforma de Servicios Mineros, don Ramón Adán de Yarza y don César Rubio. ¡Continuo y admirable aprendizaje en la ayuda! De don Luis Mariano, patriarca de la geología catalana, se aprendía la arrancada individual, monte arriba, con el libro bajo el brazo, admirando y discutiendo a solas; también me enseñó a organizar unos coros nocturnos que sembraron molestias y alegrías en las hermosas noches.

Thos y Codina publica la magistral Memoria de la provincia de Barcelona, mientras Vidal estudiaba las de Lérida y Gerona, y se empieza a trasladar el centro de la mejor geología hacia Cataluña, pues había de recibir más aires científicos de fuera; circunstancia muy adecuada a los avances especulativos, que el amaneramiento que produce el cerco enrarece el ambiente de cultura.

DON DANIEL DE CORTÁZAR (1845-1927).

Culto, decidido, de palabra y pluma, paralelas ambas y fáciles al donaire y a la gracia correcta y ligera, pudo hacer rápidas memorias geológicas referentes a Cuenca, Zamora y Orense, Almería, Ciudad Real, Toledo, Teruel, Segovia y Valladolid, al mismo tiempo que conquistaba y sostenía con decisión y desenfado puestos en la política, la que, lógicamente, le llevó al dominio de los centros de cultura, los cuales atendía con esa vigilante observación que se suele poner en los afanes apasionados y que conducen al peligro, como pudo sentir don Daniel; tuvo medalla núm. 11 y fué Académico de la Lengua, abogado, Presidente del Consejo de Minería y de la Comisión del Mapa, senador muchas veces, etc. Fué mi bondadoso casero durante varios años, y ello me permitió el regocijo de su conversación.

PEDRO PALACIOS (medalla 9) (1847-1912).

Maestro de Mineralogía en nuestra promoción; reemplazó al Sr. Sáinz, el mejor sopletista que he podido admirar; llevaba el soplete en el bolsillo, y con un poco de saliva, lente, navaja y varias perlas, lograba, a velocidad, asombrosas diagnosis minerales; fué eficaz, y casi desconocido, colaborador del señor Calderón en sus «Minerales de España». Sin querer, en simpático agregado, se ha enredado en la pluma y ahí queda con mi recuerdo, con otro justo a Naranjo, abuelo de la Mineralogía.

Fué don Pedro Palacios enorme paradójico de forma y espíritu: corto de estatura y alto de miras, más que claro, pristino, en su idea y sentimiento, era difícil de palabra; un verdadero ángel de bondad, salvando la forma externa.

Su honradez, en la expresión geológica, fué sólo comparable con la de Schulz: Navarra, Zaragoza, Guadalajara, Soria y, particularmente, el wealdense en las provincias de Logroño y Soria, con don Rafael Sánchez Lozano. Era riojano, de Navajún, en el límite de Soria.

¡Maestro, cuánto cariño querría poner en esta oración!

ABELLA Y CASARIEGO (1847-1913).

Marca una representación, que ha perdurado, del esfuerzo español en Filipinas, aquel laborar firme, aislado, ignorado o menospreciado por los poncios que no supieron o no quisieron igualarse en puritanismo con los que trabajaban por España. En muchos años está logrando Filipinas riquezas en aquellas zonas y con las orientaciones que preconizaron los Ingenieros de Minas españoles, Casariego, Centeno...

Oros de Mindanao, Misamis, volcanes y estudio geológico de la isla de Cebú. Casi todas sus publicaciones, en aquel clima, fueron concentradas del 1877 al 85.

ADÁN DE YARZA (1848-1917).

Ingeniero muy erudito y gran didáctico; caballero cristiano de raza y amante de su país, hacia él se orientaron sus principales estudios. Son pruebas Vizcaya, Alava, Guipúzcoa, minas de Somorrostro, pero al mismo tiempo sus conocimientos y afición dominante fué la microscopía mineralógica, en la que inició, con sus indicaciones y fácil didáctica, a muchos jóvenes Ingenieros. Fueron notables sus apuntes de Geología y criaderos.

En la publicación de una hoja de la región Norte se inserta una biografía bien hecha de este vasco, sabio y caballeroso.

LUIS DE ADARO (1850-1915).

Fué ganado, como Schulz, por la tierra de Asturias, a la que dedicó sus amores, y en ella, sin integrar aún, tiene difundido su general cariño bien correspondido, pero que, en bien de ese afecto y debido agradecimiento, estaría mejor plasmado en demostración más ostensible que el lindo monumento de Sama, en el ofrecimiento del cual se puso emoción. La minería asturiana tuvo con Adaro una honda transformación hacia el mejor laboreo y bienestar de los obreros, preparación de prosperidad de las cuencas. Amabilísimo con todos, sus atinados elogios eran incitaciones al trabajo, para merecerlos siempre.

Su delicada cortesía quizá no era la más apropiada en los medios industriales. Su enorme trabajo, ya que no logró una recompensa adecuada, le facilitó su marcha a la Dirección del Instituto Geológico, nuevo nombre de la antigua Comisión (1911).

Su principal publicación fué la referente a los «Criaderos de hierro de Asturias».

El primer tectónico español, conocedor al detalle de la estratigrafía, y de poderosa imaginación, trazó unos planos de las cuencas carboníferas y de las menas ferruginosas sin-génicas devonianas, que aun hoy son modelo de magníficas concepciones orogénicas, aclaratorias de los antiguos plegamientos y orientadoras para las perforaciones de los recubrimientos secundarios sobre el carbonífero.

Raro será el que entrando en su esfera de acción no le deba agradecimiento o le recuerde con afecto.

G. PUIG Y LARRAZ (1851-1917).

Trabajador minucioso y pacienzudo, redactó un gran volumen acerca de la geología de la provincia de Zamora y revisó con su orden característico: «Cavernas y simas de España», «Notas bibliográficas», en cinco años; «Reseña geográfica de las publicaciones de la Comisión del Mapa del 73 al 92» y varios estudios paleontológicos.

R. SÁNCHEZ LOZANO (1854-1922).

Director ideal, en aquel tiempo y en nuestro concepto. Amigo sincero de todos, consejero inestimable por su ciencia y sinceridad, defensor entusiasta si era preciso y censor severo, pero afable, si se merecía. Son inolvidables aquellas rondas, avisando al conserje el final de la tarea, para salir reunidos, siguiendo en satisfecha compañía a don Rafael por la cuesta de Isabel la Católica.

Se lo sabía todo: fondo científico, redacción, trascendencia del estudio, representación gráfica de fósiles, planos y policromía. Siempre la gama a la luz difusa para apreciar la decoloración; así, su plano del 19 es el mejor conservado siempre.

Sus principales trabajos fueron los referentes al wealdense, con Palacios (1885); Logroño, Burgos, hullero de Burgos, carbonífero de Guardo, Santander (con Puig Larraz), criaderos minerales y estudios hidrológicos. Conocía de modo admirable el anecdotario de los geólogos antiguos y los acaecimientos en el Cuerpo de Minas. A él debo la correspondencia entre don Casiano de Prado y Fernández de Castro y varios retratos. Medalla 30 de la Academia de

Ciencias. Hizo magnífico papel como consejero de Instrucción Pública y vocal de oposiciones.

CÉSAR RUBIO (1858-1934).

De gran preparación geológica, era un destacado Ingeniero en cualquier clase de criaderos; Marruecos, minas de Guelaya; Hierros de Murcia; Sales potásicas de Cataluña, con Agustín Marín; Estudios hidrológicos, y culminó en su actuación al presidir el Congreso Geológico Internacional del año 1926. Realizó la temporal, pero magnífica unión, de todos los que estudiábamos Geología, y con ello logró la colección de guías y conductores de las excursiones.

Aún, en el extranjero, sea la nación que fuere, se recuerda con agrado y admiración aquel Congreso modelo, en el cual, como detalle, el Presidente, el Secretario y la señorita mecanógrafa hablaban tantos idiomas, y tan correctamente, que todos los miles de geólogos pudieron entenderse en el suyo propio con los directivos.

FLORENTINO AZPEITIA (1859-1934).

Profesor de nuestra promoción en dos años seguidos: Paleontología y Geología. Veinticinco años han hecho pasar por sus manos centenares de Ingenieros.

Conocedor profundo de la paleontología, orientado en textos modernos y en la actualidad de cada caso, salpicaba de anécdotas oportunas sus explicaciones sobre fósiles sometidos en el mismo momento a su examen; pero este profesor excelso tenía dos enemigos de su labor: su bondadoso carácter, sin veta de alteración, y la falta de comprensión

que, en aquella época, había entre profesores y alumnos, quizás escasamente preparados para un cambio de medio tan brusco al ingresar en la Escuela.

Fué no sólo sabio paleontólogo en todas las ramas del saber orgánico, sino gran mineralogista. Sus especialidades fueron la diatomología y la conculiología; como diatomólogo figuraba entre los más destacados del mundo; publicó la diatomología española en los comienzos del siglo xx, catalogando sólo de Morón 187 especies, más que las citadas en la mejor obra de su tiempo a este respecto: «Diatomées du Monde entier», de Tempère y Peragallo. Citó en España 1.102 diatomeas y otras muchas de los yacimientos de Nueva Zelanda, Rusia, Hungría, Francia y América, que extrajo Azpeitia de la roca matriz y montó, en su inmensa mayoría por él mismo, en más de 5.000 preparaciones.

La otra especialidad en que brilló en primera línea fué el estudio de los moluscos terrestres y de agua dulce de nuestra península, propósito que, normado con todo cariño y con la persuasión de que su afán había de durarle más que su vida, comenzó a publicar con la monografía modelo «Las melapnosis vivientes y fósiles», publicándose el tomo II, «Conchas bivalvas de agua dulce de España y Portugal», después de su muerte.

La magnífica colección de moluscos contenía 8.000 especies; con 70.000 ejemplares, hoy en el Museo de Historia Natural; la de diatomeas en el Instituto Geológico y Minero de España. Todo mi cariño y recuerdo para su inolvidable memoria. (Medalla número 7 en la Academia.)

DOMINGO DE ORUETA (1862-1926).

Ingeniero preparadísimo para la industria hizo marchar prósperamente fábricas de herramientas y de frascos de envases para las minas de Almadén. Pero su pasión era el microscopio; dominaba la óptica matemática y teorías alemanas, preparación que le llevó a la Royal Microscopical Society of London; a la Sociedad Americana de Washington y a la de Decatur (Illinois). Fué doctor *honoris causa* por la Universidad de Jena. Colaborador de Zeiss y de las casas Watson and Son y R. J. Beck, de Londres, firmas que le ofrecían las primicias de sus aparatos e innovaciones producidas por los dictámenes de Orueta.

Publicó la geología de Málaga (1877). Descubrió el platino en las rocas básicas de la Serranía de Ronda, con extraordinarias fotografías en colores, y realizó y publicó muy interesantes estudios acerca de rocas examinadas con el microscopio polarizante. Ya de Director del Instituto Geológico publicó la obra fundamental, «Microscopía».

La muerte, gran igualadora de injusticias y pasiones, ha hecho que puedan colocarse juntos Azpeitia y Orueta, en el cuadro que aquí cerramos, después de atravesar borrascas en vida.

Horizonte

Con la presidencia del eminente don Luis de Adaro, alma de Asturias moderna, prototipo de Ingeniero alentador al trabajo con sus entusiasmos, transmitidos en elogios tan adecuados que llegaban, eficaces, con la misma sorpresa de quien los recibía, se cambió en 1911 el título al Instituto Geológico, con tendencia a estudiar los criaderos minerales, tanto científico como industrialmente. Mayor importancia tuvo en 1927 la mutación a Instituto Geológico y Minero, dentro del cual, ayudando todo el personal técnico a don Luis de la Peña, se organizó el mapa en hojas a escala 1:50.000, del Geográfico, se aumentó la publicación en una revista no periódica, pero de mayor rapidez de noticias que el Boletín, y se acentuó la tendencia minera, hoy neutralizada, quizás algo razonablemente, por la creación de las empresas paraestatales que procuran investigar y poner en punto de explotación los criaderos.

Van publicadas más de cien hojas del nuevo mapa por los Ingenieros del Instituto y alguna valiosa cooperación de Profesores Universitarios.

Ese volumen de noticias geológicas regionales merecería una exposición sintética de propagación, procurándose con ello la solución y unidad que reclaman algunos problemas de señalización y policromía representativa.

El triunfo de esas cien hojas es magnífico y alentador porque anuncia y sostiene que hay savia y vitalidad en el Instituto Geológico, y su colaboración para, si no cambian las circunstancias, terminar la empresa del Mapa a mayor ritmo, lo que representaría a la larga, más economía, por mucha

mayor ganancia en los provechos logrados al estudiar el terreno.

Hay que prepararse a trabajar recia y voluntariosamente, aunque recordando, con el maestro y sin querer, a veces:

«Habiendo pasado una parte de mi vida en las montañas y con los hombres de la naturaleza, a lo menos con los que se hallan más cerca de ella que los de las ciudades, los he mirado siempre con afección y aun con respeto, y entre ellos he viajado siempre desarmado y sin temor alguno. En su trato y comunicación se adquiere grande enseñanza: menos tendencia a la ambición desatentada y otras malas pasiones, la paz del alma, la templanza. He salido siempre de Madrid con mi brújula y mi martillo, ufano y lleno de alegría: a la vuelta no entré nunca por sus puertas sin un vago sentimiento de tristeza.»

P. H. S.



**FUNDAMENTOS LOGICOS
DE LA GEOLOGIA**

POR

E. CUETO RUI-DIAZ
INGENIERO DE MINAS

I N D I C E

	<u>Pág.</u>
Consideraciones preliminares	3
La hipótesis en geología y sus requisitos lógicos.	17
La inducción científica	29
Necesidad del método en geología.	39
Marcha general de la investigación geológica	45
Conclusión final	65

CONSIDERACIONES PRELIMINARES

Ha sido emitido con harta frecuencia el juicio, tanto de palabra como por escrito, de que la Geología no es una Ciencia en el sentido estricto del término, sino más bien un conjunto, sólo aparentemente sistemático, de especulaciones desprovistas de base lógica, en cuya elaboración tiene una parte principalísima la imaginación, mientras que las demás facultades del espíritu llenan sólo funciones secundarias. No sólo ha sido formulado este juicio por personas que cultivan disciplinas muy distintas de la Geología —las que, por lo tanto, no pueden tener un concepto claro del objeto y métodos de esta Ciencia—, sino que, entre nosotros, se escucha también a veces de labios de profesionales, cuyo primordial cometido es la extracción de las riquezas minerales que atesora la corteza terrestre, para quienes, por lo tanto, la Geología constituye el fundamento científico de sus actividades industriales.

Se debe hacer notar, ante todo, que los que tal opinión sustentan ignoran, al parecer, el hecho del importante papel desempeñado por la imaginación en el estudio de las ciencias de la Naturaleza. El físico inglés Tindall ha dedicado a esta cuestión un notable trabajo —*Fragments of Science*, 1871 —, del cual son las siguientes palabras:

«La Ciencia tiene sus conservadores, los cuales consideran a la imaginación como una facultad que más conviene temer y evitar que utilizar. Viéndola al servicio de cerebros excesivamente débiles, se ha exagerado el mal que podía hacer. Sería injusto prohibir el uso del vapor porque, de tiempo en tiempo, se registren explosiones de calderas. Contenida en sus justos límites, y condicionada por la razón, la imaginación se convierte en el instrumento más poderoso de los descubrimientos». En otro lugar de su trabajo califica el célebre físico de triunfo estupendo de la imaginación el descubrimiento de la ley de la Gravitación Universal, fundando este aserto en una frase atribuida a Newton, a la que más adelante se hará especial referencia. También afirma que más allá de los actuales puestos avanzados de la ciencia se extiende un campo inmenso, en donde la imaginación puede desenvolverse libremente. Acaso Tindall asigne un uso excesivo a la imaginación, pues ésta, en la investigación científica, no debe trabajar nunca con independencia, sino estrechamente subordinada al entendimiento; es decir, como mero instrumento —aunque, como más adelante se verá, de extraordinaria importancia— de otras facultades del espíritu. Esta rigurosa dependencia de la razón es el rasgo más característico de la denominada imaginación científica, y lo que separa profundamente a ésta de la imaginación artística, la cual obra siempre con casi absoluta libertad. El uso de la imaginación en Geología, como en las demás ciencias de la Naturaleza, es no sólo legítimo sino, además, necesario, pues, como se procurará poner de relieve en el curso de este trabajo, sin su activa intervención, dentro de la severa disciplina dicha, no es posible llevar a feliz término indagación alguna.

El conjunto de reglas a que, durante el estudio de una

rama del saber, deben sujetarse las diversas facultades del alma, constituye lo que se nombra su método. El orden especial de hechos que forman el objeto de una determinada ciencia ofrece, en general, peculiaridades que deben ser atentamente consideradas, pues de ellas depende su método, el cual, aunque tenga directrices generales comunes con los métodos de las ciencias afines, puede, bajo ciertos aspectos, diferir considerablemente de ellos. En relación con esto, la Geología ocupa una singular posición. Algunas ciencias, como la Física y la Química, estudian fenómenos que pueden ser reproducidos en el laboratorio y, por lo tanto, directamente observados y precisamente descritos, siendo ésta la razón principal de su relativamente rápido desenvolvimiento. El desarrollo de la Geología fué más lento y dificultoso.

Los llamados fenómenos actuales pueden también, como los hechos objeto de la Física y la Química, ser directamente examinados y algunos de ellos reproducidos, habiendo dado lugar su estudio, con anterioridad a Abraham G. Werner, creador de la Geología a fines del siglo decimotercero, a la Geognosia, disciplina que se limitaba a la descripción de los hechos, pero sin indagar las relaciones causales existentes entre ellos, ni mucho menos las leyes que los rigen, no siendo, según esto, una ciencia en la actual acepción del vocablo. La Geognosia, sin embargo, prestó importantes servicios a la Minería en los siglos xvi, xvii y xviii. Pero la Geología no podía, utilizando los viejos métodos de Agrícola, permanecer encerrada en el ámbito de la Naturaleza actual, pues su objeto es mucho más vasto, comprendiendo, aunque se le circunscriba al problema de la formación de la corteza terrestre, un proceso complejísimo e ininterrumpido, que se extiende desde el remoto período arcaico hasta la época presente. La posibi-

lidad de penetrar en el oscuro pasado de la Tierra, sin utilizar la vía especulativa, era negada, o por lo menos puesta en duda, por muchos hombres de ciencia, los cuales no concebían que la Naturaleza ofreciera documentos que contribuyeran poderosamente a resolver tan ardua cuestión. Esto sólo pudo ser comprendido a la luz del postulado del Actualismo, enunciado por Ch. Lyell hacia la mitad del siglo XIX.

Con arreglo a dicho postulado, los acontecimientos del pasado geológico sólo pueden ser comprendidos e interpretados por sus analogías como fenómenos observables en la actualidad; es decir, que el grueso conglomerado de la base del westfaliense asturiano, por ejemplo, se formó de modo semejante a como se depositan las gleras o cascajares de nuestros ríos. El Actualismo admite, además, que las modificaciones de la corteza terrestre no han sido obra de hechos de naturaleza catastrófica, como los cataclismos de Cuvier y D'Orbigny, sino el resultado del prolongadísimo trabajo de pequeñas fuerzas, todavía hoy activas. Las modernas investigaciones geológicas, sin embargo, obligan a rechazar, por lo menos en los términos en que ha sido formulada, la susodicha teoría, imponiéndola importantes restricciones. Singularmente, el concepto o imagen que de la historia de la Tierra se tiene hoy, a la que se la considera integrada por épocas de tranquilo desarrollo —evoluciones de Stille— que alternan con otras en que las fuerzas geológicas se intensifican considerablemente —evoluciones del mismo geólogo—, se halla en contradicción con los principios del Actualismo. Es fuerza reconocer, con todo, que la doctrina de los ciclos, hoy generalmente admitida, ofrece la ventaja de conciliar los conceptos fundamentales, aparentemente contradictorios, de las dos viejas teorías citadas, pues las épocas de evolución de la cor-

teza terrestre se hallan de conformidad con el Actualismo, mientras que las revoluciones tectónicas tienen notables analogías con los cataclismos de Cuvier.

El postulado del Actualismo, tal como le enunció Lyell, fué inmediatamente aceptado por gran número de geólogos, quienes desde entonces se creyeron en posesión de un eficaz instrumento que los liberaba del método propio de la Filosofía, todavía muy utilizado en los albores de la centuria pasada, sobre todo en las especulaciones de carácter geogénico. Como es bien sabido, la Filosofía no tenía por objeto en la antigüedad, como ocurre al presente, el estudio de un orden determinado de hechos, con exclusión de todos los demás, sino que, como la etimología de la palabra enseña, abarcaba la totalidad de los conocimientos humanos, entre los que ya se admitía que existían ciertas relaciones. Esto se halla demostrado por la sistematización de las ciencias de Aristóteles, la cual, al modo de las clasificaciones modernas, comienza por las disciplinas más generales y abstractas, que son las matemáticas, y termina con las ontológicamente más concretas y complicadas, que son las que estudian los seres vivientes. La Lógica no es incluida en la tabla de clasificación de Aristóteles, por ser considerada como un *organon* o instrumento aplicable a todo linaje de investigaciones. Nuestro Raimundo Lulio, pensador que vivió en el siglo XIII, es partidario de la subordinación de todas las ciencias a la Filosofía. He aquí cómo se expresa en su *Arte Magna*: «Toda ciencia, tal como ordinariamente se la trata, tiene sus principios peculiares y diversos de los principios de las otras ciencias, pero el entendimiento requiere, apetece y busca una sola ciencia general, o suma Filosofía, con principios generalísimos, en los cuales esté implícito y contenido el principio de las ciencias particulares, como está contenido

lo particular en lo universal». Lulio representa gráficamente, en su *arbor scientiae* —emblemata de nuestro Consejo Superior de Investigaciones Científicas—, el saber humano por un vigoroso tronco, al que se hallan fuertemente sujetas varias largas y frondosas ramas. La fecunda idea de que las ciencias no son líneas que convergen en un punto, sino ramas de un mismo árbol, es atribuida por algunos tratadistas de Lógica a Francisco Bacon, incurriendo en manifiesto y grosero error, puesto que el *Novum Organum* fué publicado tres siglos después que el *Arte Magna* del filósofo mallorquín.

Opinión análoga a la expresada, es decir contraria a la separación de la Ciencia y la Filosofía, es la de Lord Kelvin, una de las más poderosas mentalidades del siglo XIX, quien en su lección inaugural como profesor de Física en la Universidad de Glasgow, dijo que «en el estudio progresivo de los fenómenos del mundo externo, el primer trabajo es de observación y clasificación de los hechos, al que sigue el de sistematización inductiva de los mismos, cuyo objeto es la investigación de las leyes naturales». A la segunda de estas fases la denomina dicho físico Filosofía.

Lo que acaba de decirse pone de relieve la dificultad, o acaso la imposibilidad, de trazar una línea que sirva de frontera entre la Filosofía, de una parte, y la Ciencia, de otra. Algunos autores modernos, entre ellos el profesor E. F. Taylor, son de opinión que la Filosofía comienza donde termina la Ciencia, y que ésta tiene por límite las grandes teorías por ella establecidas. La Filosofía parte de éstas, y su trabajo consiste en someterlas, aplicando los métodos de la lógica formal, a una severa crítica enderezada a esclarecer en qué grado concuerdan con las características —que pretenden conocer— de la realidad absoluta, y, como consecuencia, cuál es su valor como apre-

ciación la más reciente de esta última. Con arreglo a los que de este modo discurren, el cometido del filósofo es la interpretación de los hechos descritos por el hombre de ciencia. Este procede de muy distinto modo y sigue muy diverso camino, pues, tomando como guía las ideas de Kant, prescinde del *númeno* o de la cosa en sí, por juzgarle inaccesible a nuestras facultades, y circunscribe sus investigaciones al *fenómeno*, esto es, a los hechos tal como se ofrecen a nuestros sentidos. La consecuencia necesaria de esta fundamental distinción es que, no pudiendo apoyarse las leyes naturales en la ignorada esencia de las cosas, aquéllas no pueden en ningún caso ser consideradas como algo inconvencional y definitivo, siendo la general convicción de los hombres de ciencia que todas, sin excluir a las tenidas por mejor fundadas, serán abandonadas en plazo más o menos largo y sustituidas por otras que expliquen mejor los hechos a la sazón conocidos. Esto induce al naturalista, impulsado por el espíritu escrutador y, en determinado sentido, escéptico que le distingue, a realizar una revisión continua, minuciosa y profunda de todas las concepciones, sin exceptuar las debidas a los pensadores más eminentes, utilizando en este análisis tanto la experimentación como los medios ofrecidos por la Lógica.

Se debe aclarar que, no obstante lo dicho, el hombre de ciencia rinde fervoroso culto al sabio, pero con la limitación de no someterse ciegamente a su autoridad. Esto no es, como creen muchos, un rasgo psicológico peculiar del investigador moderno, pudiendo ser alegado, en apoyo de esta aseveración, que ya en el siglo XIII vivieron dos hombres doctísimos —Arnaldo de Vilanova y Adelardo de Bath, el primero español y el segundo inglés— que propugnaron la necesidad de discutir todas las proposiciones formuladas por los filósofos de la antigüedad, expresando

ambos en términos casi idénticos, aunque acaso excesivamente crudos, la opinión de que «la autoridad es un roncal que sólo sirve para conducir bestias».

En contraposición con las anteriores consideraciones, no pocos investigadores modernos sostienen que las ramas en que la Filosofía se dividía, y que fueron como el germen o embrión de las actuales ciencias, una vez que su objeto estuvo bien delimitado, y cuando el método de investigación adecuado a cada una de ellas llegó a constituirse, se fueron una tras otra segregando de la Filosofía, desarrollándose desde entonces con absoluta independencia de ésta. Dicha opinión presupone que los sabios de la antigüedad clásica utilizaban exclusivamente en sus trabajos el llamado método especulativo, por ignorar o no conceder importancia a los demás procedimientos de indagación. Hay, sin embargo, razones para creer que, mucho antes que Aristóteles compusiera su tratado de Lógica, ya se empleaba en la inquisición de la verdad, no sólo todos los métodos de inferencia descritos en el citado libro, sino también la observación y el experimento, aunque estos últimos medios en forma rudimentaria.

Si la independencia de las ciencias se hubiera llevado a efecto, como suponen los aludidos pensadores, hoy nos hallaríamos ante el hecho de haber sido rota la unidad del saber, la cual, en la Edad Antigua, tuvo a la Filosofía por su más alta expresión. Pero no es esto lo ocurrido, como demuestra la historia de las ciencias, sino que, a medida que se profundizó en el estudio de éstas, más se puso de relieve las mutuas relaciones que las ligan, y más patente se hizo que el progreso de una disciplina no se debe a su particular método de investigación, puesto que algunas de ellas, como la Física, utilizan la mayor parte de los conocidos, a saber: la observación, el experimento, el método

deductivo, el inductivo y, por fin, el razonamiento matemático. Se debe hacer notar, en relación con esto, que hasta la Metafísica, la cual, como consecuencia del pretendido derrumbe del edificio de la Filosofía, debiera encontrarse aislada y enhiesta, como única parte subsistente de aquél, se halla hoy estrechamente supeditada a las demás ciencias, pues la mayor parte de los que la cultivan toman por punto de partida de sus lucubraciones las grandes teorías científicas; apoyándose, según esto, la Metafísica, aunque indirectamente, en los mismos hechos que sirven de sólido fundamento a las ciencias empíricas.

Hoy, por lo tanto, y acaso con más fuerza que en el pasado, se siente la necesidad de agrupar los conocimientos en un todo conexo y estable, siendo algunos de los modernos ensayos de clasificación de las ciencias, singularmente los de Comte y Spencer, plausibles esfuerzos enderezados a aquel fin. Todo cuadro de clasificación debe satisfacer las exigencias del espíritu, por lo que, a su cabeza, se hallarán la Lógica y las Matemáticas, no sólo por ser las ciencias más generales y abstractas, sino por su carácter metodológico, esto es, por ser disciplinas que dictan normas a las que necesariamente habrá de someterse el entendimiento cuando investiga el dominio particular de una cualquiera de las demás ciencias. Estas, a su vez, se ordenarán de modo que haya entre todas perfecta trabazón lógica, lo que exige que cada una de ellas suceda inmediatamente a aquella que, no obstante ocuparse en objeto especial diferente, establezca teorías o leyes generales que en ningún caso deben ser infringidas por el que indaga hechos inherentes a la disciplina que la sigue.

Clasificadas las ciencias con arreglo a estos principios, forman una serie en la que cada miembro se halla ligado al que le precede por inflexibles relaciones lógicas, conse-

cuencia, sin duda alguna, de las estrechas dependencias, en su mayor parte todavía ignoradas, que hay entre los diversos grupos de fenómenos. Las ramas del saber, por lo tanto, lejos de separarse, tienden a unirse cada vez más íntimamente, por lo que el filósofo moderno, cuando especula, no prescinde de los hechos ni de las teorías generales bien establecidas, antes las toma por punto de apoyo de sus disquisiciones; y, por otra parte, el naturalista no se limita a observar los hechos y a describirlos con precisión, sino que, cuando aplica, como es el caso general, el método inductivo, una vez descritos los hechos se entrega a afanosas especulaciones, siendo este trabajo del espíritu el decisivo de la investigación, pues es el que conduce, cuando se remata con buen éxito, a las leyes que rigen los fenómenos, a la clara luz de las cuales los hechos estudiados, en apariencia caóticos, se muestran como un conjunto ordenado y armónico. Conclúyese de esto que, aunque las ciencias empíricas tengan métodos propios de inexcusable aplicación, no por eso han renunciado al método característico de las ciencias teoréticas o especulativas, el cual continúa siendo aplicado ampliamente, sobre todo, como luego se verá, en la elaboración de las llamadas hipótesis de trabajo.

Dedúcese, pues, de lo expuesto, que el físico, el químico y el geólogo, con más sólida base que el metafísico —puesto que parte de los hechos— y con no menor rigor dialéctico que éste, somete también a implacable análisis las grandes concepciones de su ciencia, pero no mediante el empleo exclusivo de la experimentación, como pudiera colegirse del nombre, a todas luces inadecuado, de Ciencias Experimentales, asignado por algunos a las que se ocupan en el estudio de la Naturaleza, sino aplicando rigurosamente todos los procedimientos generales del pensa-

miento, incluso los métodos puramente filosóficos. La pretendida emancipación de la Ciencia, si ella es posible, dista mucho de hallarse realizada, siendo lo más verosímil que entre aquélla y la Filosofía exista siempre la estrecha dependencia preconizada por Raimundo Lulio.

El geólogo alemán Serge von Bubnoff, profesor en la Universidad de Greifswald, en la obra intitulada *Grundprobleme der Geologie* (1931), estudia, desde su personal punto de vista, la actual posición de la Ciencia en relación con la Filosofía, llegando a conclusiones de las que se juzga útil hacer breve examen. Admite que, en la actualidad, todas las ciencias, incluso la Geología, se han hecho independientes de la Filosofía, como consecuencia de lo cual el monismo antiguo ha sido sustituido por el presente dualismo científico; separación que el mencionado profesor califica de lamentable, por lo que, en el primer capítulo de la citada obra, ensaya tender un puente —son sus palabras— que una de nuevo las ciencias del Espíritu con las ciencias de la Naturaleza. La Filosofía no es hoy —dice— una ciencia especial como la Historia o la Estética, sino la disciplina que estudia bajo el aspecto más general los «valores» y los medios de realizarlos; no teniendo, por lo tanto, aquel término el sentido que le asignaban los antiguos griegos, para quienes la Filosofía era la ciencia que tenía por objeto la explicación de toda la realidad. El hombre no cultiva la ciencia —añade— con fines exclusivamente utilitarios, sino más bien acuciado por el interés que en él despierta la contemplación del curso regular de los fenómenos naturales, siendo la investigación científica, con arreglo a esto, un valor superior a nuestra vida, puesto que muchas veces el que indaga estudia hechos que quizá nunca puedan ser utilizados por la humanidad, no habiendo, además, faltado nunca hombres de ciencia que sintieron el anhelo

de idear una imagen del mundo, con lo que entraron resueltamente en el dominio de la Filosofía.

Pero esto, lo mismo que cuando simplemente se reflexiona acerca del origen de los conceptos científicos, del contenido de verdad que puede haber en ellos, de sus posibilidades lógicas, de su evolución a través del tiempo y de los errores que, una vez descubiertos, han movido a abandonar a muchos de ellos, no puede hacerse, según Bubnoff, por los métodos propios de las ciencias particulares, sino mediante la aplicación estricta del método filosófico. No juzga de utilidad este método para las investigaciones peculiares de cada disciplina, pero todas las ciencias tienen épocas de crisis, durante las cuales algunas de sus mejor fundadas teorías se agrietan profundamente y amenazan inmediata ruina, sintiendo entonces el estudioso de la Naturaleza vivo deseo de reflexionar sobre el grado de verdad de nuestras concepciones. Por este medio estima Bubnoff que es posible restablecer el perdido enlace de la Ciencia con la Filosofía.

Este modo de conexión difiere sustancialmente, y es, a mi juicio, mucho más precario que el sustentado en el presente trabajo, pues en aquél el método especulativo es excluído de la indagación científica, por partir Bubnoff del supuesto de la completa independencia de las ciencias, mientras que en el que aquí se propugna, la especulación, como consecuencia de admitir que todas las disciplinas permanecen, bajo el aspecto formal, subordinadas a la Filosofía, se aplica normalmente en la investigación; pero de muy distinto modo que el metafísico, quien, como ya se ha dicho, apoya sus razonamientos en el movedizo terreno de las teorías científicas, destinadas todas a ser tarde o temprano fatalmente abandonadas, mientras que el físico, el químico y el geólogo asientan sus indagaciones en

el cimiento mucho más firme de los hechos, siendo, además, su aspiración, no el conocimiento de los elementos más recónditos de la realidad, meta suprema del filósofo, sino el esclarecimiento cada vez más perfecto del orden de fenómenos que escudriña.

LA HIPOTESIS EN GEOLOGIA Y SUS REQUISITOS LOGICOS

Expuestas las anteriores consideraciones de carácter general, se va a examinar ahora, de modo más específico, la hipótesis geológica y las condiciones que debe satisfacer. La Geología, como ya se ha dicho, se ocupa en el estudio del modo de formación de la corteza terrestre, mediante la aplicación de las leyes establecidas por otras ciencias, especialmente por la Física y la Química, por lo que sus proposiciones no deben, en ningún caso, contradecir los grandes principios de éstas, es decir, la gravitación universal, la afinidad química, etc. El objeto de la Geología difiere mucho, por lo tanto, del de las ciencias citadas, pues aquélla debe estudiar, además de los fenómenos del mundo actual, el dilatadísimo proceso que los ha precedido en el tiempo, es decir, todo el pasado geológico. Por otra parte, mientras que los fenómenos físicos y químicos pueden, en su mayor número, desarrollarse en el laboratorio en un breve lapso de tiempo y entre cantidades pequeñas de sustancias, los procesos geológicos afectan a masas enormes de materia y su duración es punto menos que inconcebible. Estas profundas diferencias de objeto entrañan grandes diferencias de método, siendo la principal de ellas que el experimento, de tan vasta aplica-

ción en las demás ciencias de la Naturaleza, en Geología es de un uso limitadísimo.

Otra consecuencia de lo dicho es que, para el geólogo, ni los experimentos de otras ciencias ni los suyos propios pueden ser considerados como concluyentes. Si, por ejemplo, se extienden unas sobre otras varias capas de materias plásticas, como la cera y la arcilla, y se las somete como han hecho Daubré, Paulcke, Willis, Tocuda y otros, a presiones susceptibles de comprimirlas y plegarlas, no debe seguirse del resultado obtenido que el fenómeno orogénico es idéntico al de este modo producido, puesto que ignoramos lo que ocurriría si se utilizasen grandes masas de rocas y se las sometiera a ingentes presiones capaces de deformarlas. Además, como he procurado poner de relieve en otro trabajo, las cordilleras de la Tierra nunca son obra de un solo acto orogénico, sino que todas se han formado por la adición de elementos estructurales, surgidos sucesivamente durante los varios ciclos tectónicos en que puede ser dividida la historia de la Tierra, no faltando hoy geólogos, entre ellos Stille, que niegan a la época pleistocena el carácter anorogénico que otros le asignan, es decir, que el proceso deformativo de la superficie de la tierra, iniciado en el arqueozoico, continúa aún en la actualidad.

La absoluta imposibilidad de realizar en Geología experimentos sujetos a condiciones adecuadas de duración, espacio y masa, fuerza al investigador a reconstruir los hechos, a lo largo del tiempo, por otros medios, siendo esta reconstrucción histórica una de las características que mejor distingue a la Geología de las otras ciencias. La necesidad de dicha reconstrucción demuestra también la ineficacia del empleo de otros métodos, pues cuando se recurre a ellos, como hizo Vogelsang, quien adoptó la fisiografía microscópica, es decir, un método físico, como

principio salvador, se corre el riesgo de perderse en los minúsculos pormenores de la constitución mineralógica de las rocas, sin considerar a éstas desde el punto de vista genuinamente geológico, es a saber, sin atender a la función que llenan cuando en la corteza terrestre se muestran, como es el caso general, formando grandes masas.

Para el geólogo, según esto, no es indiferente, como lo es para el físico y el químico, cuándo se produce un acontecimiento, sino que, en sus indagaciones, no debe nunca perder de vista la estrecha relación que existe entre los terrenos que asoman en la región que estudia y la época en que se han depositado. Esta estricta sujeción al tiempo es la causa de que, en los libros de Geología, no se pueda adoptar en todo su rigor la clasificación escolástica de los fenómenos, propia de los tratados didácticos, por lo que la exposición de los hechos reviste en aquéllos más bien la forma de una descripción histórica.

Esto ha inducido a algunos, entre ellos a Walther, en su libro *Algemeinen Paläontologie*, a clasificar la Geología entre las ciencias históricas, arguyendo que aquélla reconstruye un proceso que se ha desarrollado una sola vez, y tiene, por lo tanto, un objeto análogo al de la Historia. Es cierto que el proceso de formación de la corteza terrestre consta, como todo proceso —pero en grandiosa escala— de varias etapas, cuya clara exposición exige que sean descritas en el orden cronológico en que se han producido. Pero esta frase es una pura forma de expresión, pues el término «cronológico» tiene en Geología un sentido muy distinto del que le da el lenguaje corriente. La Historia propiamente dicha abarca un pequeño número de milenios, es decir, un fugaz lapso de tiempo si se compara con la duración, superior a cuanto la mente humana puede imaginar, de uno cualquiera de los periodos en que se di-

vide la Geología. Pero entre esta ciencia y la Historia existen, además, diferencias de otro orden. Al geólogo no le interesa lo individual. Como dice acertadamente Bubnoff, «este saurio que acabo de extraer de la tierra no me interesa como individuo, sino como exponente de la especie a que pertenece, es decir, por lo que me enseña acerca de las condiciones biológicas del tiempo en que ha vivido». Si nos fijamos en la especie humana, el pensamiento de Bubnoff se destaca aún con mayor vigor. La Historia estudia los hechos de los grandes capitanes, de los atrevidos navegantes, de los filósofos, etc., en nada de lo cual para mí el geólogo, porque lo que a éste le interesa, en relación con la especie humana, son hechos de muy distinta naturaleza, como las condiciones físicas y biológicas que determinaron su aparición en la superficie de la Tierra, la evolución de la especie a través del tiempo, su mayor o menor importancia como factor geológico, etc. Los esfuerzos del geólogo se enderezan siempre hacia lo general, no distinguiéndose su método, en este punto, de los métodos de las demás ciencias, aunque la introducción del concepto de tiempo le haya impreso un sello particular.

Como ya se ha dicho repetidas veces, la experimentación en Física y Química es de un amplísimo y general uso, mientras que en Geología tiene aquélla una aplicación muy restringida. Esto reclama, como necesario contrapeso, proceder con extremado rigor lógico en la construcción de las hipótesis geológicas, por hallarse expuesto el que indaga, durante este delicado y prolijo trabajo del espíritu, a diversas causas o manantiales de error. El estudio, bajo el aspecto lógico, de las teorías forjadas por los primitivos geólogos, hoy abandonadas por la ciencia, es de suma utilidad al investigador moderno, pues dicho examen ayuda, no sólo a formar una idea clara de los errores come-

tidos por los antiguos, sino también a poner de manifiesto si el camino hoy seguido ofrece mayor seguridad, o si, por el contrario, puede conducir a análogos yerros. Esta es la opinión sustentada por M. Semper en un trabajo rotulado *Die geologischen Studien Goethes* (1914).

Como me voy a referir a uno de estos estudios, juzgo necesario, a la vez que interesante, hacer una breve digresión encaminada a consignar —por ser hecho poco conocido entre nosotros— que el autor de *Fausto* no fué sólo, como cree la generalidad de las personas cultas, un fecundo y preclaro poeta, sino también un profundo observador del mundo externo, como demuestran sus trabajos sobre Zoología, Botánica y Geología. He aquí cómo se expresa Goethe en una de sus conversaciones con Eckermann: «Estudad la Naturaleza; proceded siempre objetivamente; no merece el nombre de poeta ni de sabio el que sólo expresa sentimientos e ideas personales. Sólo es poeta el que sabe asimilarse el mundo y pintarle. Sólo es sabio el que acierta a describirle. El espíritu humano retrocede o se torna infecundo cuando cesa de ocuparse en la contemplación del mundo físico, pues en todo esfuerzo duradero y científico hay un movimiento del alma hacia la Naturaleza». Guillermo Humbolt, famoso escritor de varia, compleja y profunda cultura, amigo de Goethe, afirma que a éste «le había sido concedido el don de observar con ojos de naturalista todo lo que le rodeaba, y comprenderlo de una manera perfecta y clara». Añade después que «tenía en poco todo razonamiento que no descansaba sobre hechos sólidos y exactos». Lo transcrito basta para poner de manifiesto el perspicaz espíritu científico del célebre poeta.

Para proceder al estudio de las teorías ya abandonadas conviene no perder de vista las siguientes consideraciones: cuando, como resultado de la observación atenta de un

hecho, se enuncia un concepto, éste en ningún caso debe ser identificado con la realidad, pues es sólo una construcción del espíritu, una abstracción, que retiene lo general y necesario del hecho y prescinde de lo particular o contingente. La mente humana opera siempre, cuando raciocina, con conceptos y no con la realidad, radicando en esto uno de los más importantes manantiales de error de la investigación; pues la clasificación de los elementos del hecho en esenciales y contingentes está siempre más o menos afectada por factores subjetivos, y se halla necesariamente subordinada al nivel general del conocimiento de la época. Consideraré el siguiente ejemplo, tomado de la obra de Semper que acaba de ser citada:

Según la doctrina neptuniana de Werner, la cual floreció en la segunda mitad del siglo XVIII, todas las rocas se han depositado del seno de soluciones acuosas, principio general que inspiró a Goethe una teoría, en su tiempo bien fundada, que se va a recordar brevemente, por juzgarla instructiva respecto a lo que se acaba de decir. Partía aquél del hecho de que en el granito se observa con frecuencia una regular división por tres planos perpendiculares, uno de los cuales constituye el límite superior de la roca. Dichos planos fueron equiparados a las superficies que limitan los cristales de otras sustancias, concluyendo de ello que los cubos en que se halla dividido el granito no son otra cosa que cristales de grandes dimensiones. Basándose en esta conclusión, Goethe estableció que en las aguas cálidas del mar primitivo se depositaron sucesivamente, primero el granito, después el pórfido y, a medida que el poder de cristalización fué disminuyendo, la caliza y las demás rocas sedimentarias. Este razonamiento, desde el punto de vista lógico y atendiendo a los conocimientos de la época, debe ser calificado de exacto. El

error cometido radica en la insuficiencia del concepto que del cristal tenían entonces los hombres de ciencia, los que creían que lo esencial de aquél es la forma geométrica, ignorando que la homogeneidad, tanto física como química, es condición igualmente necesaria. Se incurrió, pues, en una equivocada clasificación de lo necesario y de lo accidental. El reconocimiento de este yerro por Goethe era, no sólo difícil, sino imposible, pues para ello se precisaba adquirir un nuevo e importante conocimiento de orden cualitativo, es a saber: las diferencias existentes entre las rocas formadas por enfriamiento y consolidación de un magma y las originadas por sedimentación mecánica o por cristalización en un medio acuoso, lo que sólo se pudo hacer cuando los progresos de la fisiografía microscópica crearon medios adecuados para ello.

Exceptuado el caso, siempre posible, de la aparición en el dominio de la ciencia de nuevos conocimientos, de índole cualitativa, que obliguen a rechazar una concepción geológica, conviene considerar si, por medios puramente lógicos, se puede obtener la seguridad de haber sido alcanzada la exactitud apetecida. Semper propone, con este fin, tres criterios que deben ser aplicados a toda hipótesis antes de ser admitida. Dichos criterios son:

- I.—La existencia de hechos que queden inexplicados por la hipótesis.
- II.—La necesidad de modificar el concepto que de algún hecho se tenga, para amoldarle a la hipótesis.
- III.—El entrañar la hipótesis conclusiones contradictorias que obliguen a excogitar un postulado apto para coordinarlas, que es lo que los alemanes llaman *Überbrückungsschluss*.

En el primero de estos errores han incurrido con frecuencia las hipótesis geológicas, siendo quizás una de las

causas de admitirlas el que, explicando aquéllas un crecido número de hechos, no se ha concedido la debida importancia al reducido número de los que quedaban inexplicados. La razón de conservarlas debe buscarse, sin duda alguna, en el hecho de que, para abandonarlas, era menester idear otras que las sustituyesen con ventaja, y este proceso es siempre largo y dificultoso. Así se explica que algunas teorías, no obstante su ineptitud para explicar ciertos hechos bien observados, hayan imperado en la ciencia durante muchos años. No ha ocurrido esto solamente con las hipótesis antiguas, sino también con algunas desechadas hace pocos años. Con arreglo a la concepción de los Alpes, anterior a la hoy generalmente admitida, todas las formaciones que integran aquellas montañas son de naturaleza autóctona, es decir, se hallan en la actualidad en el mismo lugar en que se han depositado, quedando, conforme a esto, los llamados *Klippen* —los cuales no son otra cosa que masas de rocas de determinada edad geológica superpuestas a otras más modernas— fuera de la general explicación. Ha sido menester que la teoría de las zonas o escamas exóticas, dando de lado a viejas suposiciones, aclarase satisfactoriamente dicha anómala posición, con lo que los *Klippen* se convirtieron en la piedra angular del actual edificio tectónico de los Alpes.

La modificación, en general ilógica, del concepto que de un hecho se tiene, con el fin de hacerle compatible con la teoría a la sazón admitida, es otro de los medios que en ningún caso deben ser utilizados. El siguiente ejemplo da la razón de esto. Según la teoría de Goethe, antes resumida, la fuerza de cristalización disminuyó gradualmente de abajo hacia arriba: sobre el granito se depositó el pórfido y sobre éste las rocas producidas por sedimentación mecánica. Pero habiendo sido observado algunas veces que

entre el granito y el pórfido se hallaba el conglomerado del *rotliegenden*, cuyos guijarros ya entonces se admitía que procedían de fragmentos angulosos de rocas que habían sido redondeados merced al rápido transporte por corrientes fluviales, el hecho suscitó una grave dificultad a los partidarios de la teoría, pues, para explicarle, era preciso aceptar una enervación de la fuerza de cristalización seguida de una intensificación de la misma. Para salvar el obstáculo se recurrió a modificar el fundado concepto que del conglomerado se tenía, admitiendo, contra toda lógica, que los elementos de éste, no obstante su forma, eran un producto de cristalización. En estos casos no es, en general, el hecho inexplicable el que debe ser interpretado de distinto modo, sino es más bien la teoría —la cual no es otra cosa que una construcción del espíritu más o menos alejada de la realidad— la que debe ser modificada de modo que aquél entre en ella sin sufrir apreciable deformación.

Consideraré, por fin, el caso de adoptar postulados encaminados a hacer desaparecer la contradicción existente entre dos conclusiones. Si, por ejemplo, por razones astronómicas admitimos que la densidad de la Tierra es 6, de ello podemos concluir que, puesto que la densidad media de las rocas que forman la litosfera es aproximadamente 2,5, debe existir un núcleo terrestre mucho más pesado. Como, por otra parte, la propagación de las ondas sísmicas nos autoriza para afirmar que la elasticidad de la Tierra, en su centro, es doble de la del acero, no hay contradicción entre las dos conclusiones si se postula que el núcleo terrestre está formado por hierro. Pero si, fundándonos en el aumento de temperatura con la profundidad, se llega al resultado de que el interior de la Tierra es gaseoso, esta inferencia se halla en contradicción con la re-

lativa a la elasticidad. Se podría admitir, con el fin de coordinar las dos conclusiones, que la materia que forma el interior de la Tierra se halla en un estado que nos es hoy completamente desconocido. Pero este recurso, aceptado por algunos, es a todas luces anticientífico e inútil, puesto que no elimina la contradicción, subsistiendo, como consecuencia, la dificultad que impide llevar a conveniente término la indagación. No debe, por lo tanto, ser utilizado en ningún caso.

Después de lo dicho, ya pueden ser definidas las condiciones lógicas a que, para ser admitidas, han de estar sujetas las hipótesis geológicas. Estas deben, en primer término, explicar satisfactoriamente todos los hechos observados, sin excluir aquellos que, por presentarse aislados y en pequeño número, pudieran estimarse desprovistos de significación científica. Ya se ha hecho notar la importancia que, para el esclarecimiento de la estructura de los Alpes, han tenido los pequeños macizos de rocas exóticas denominados *Klippen*. Otra condición de las hipótesis geológicas es que las conclusiones a que en el curso de su elaboración, o después de establecidas, se haya llegado no sean contradictorias; siendo, además, preciso la absoluta conformidad entre las hipótesis y las conclusiones formuladas por las demás ciencias con las que la Geología tiene estrechas conexiones. Toda construcción del espíritu que no llene estas dos condiciones fundamentales deberá ser inexorablemente desechada. Nuestras actuales teorías son aproximaciones más o menos toscas de este supremo ideal, y deberán ser sustituidas por otras tan pronto como no puedan explicar convenientemente algún hecho nuevo, o cuando hallazgos de índole cualitativa obliguen a modificar la interpretación, hasta entonces dada a hechos conocidos de antiguo.

Esta conclusión pudiera ser utilizada, por los que niegan el carácter científico de la Geología, como argumento favorable a su tesis, alegando que la inestabilidad de las teorías geológicas es la prueba concluyente de su escaso o quizá nulo valor. Pero estas teorías, no obstante sus manifiestas imperfecciones, son en extremo útiles en relación con el progreso científico, pues nuestro espíritu solamente comprende la realidad cuando logra encerrarla en esquemas lógicos dotados de cierta generalidad.

Las concepciones científicas, por lo demás, no son siempre desechadas en absoluto, siendo lo más general, si se considera atentamente su desarrollo histórico, que algunos de sus elementos son conservados, aunque con distinta interpretación. Bubnoff recuerda, en relación con esto, la teoría orogenética de L. von Buch, la cual atribuye el levantamiento de las montañas a la acción exclusiva de la fuerza volcánica. El estudio del Jura demostró, sin embargo, que esta explicación no le convenía, pues no bastaba, para comprender su estructura, una presión ejercida en sentido radial, sino que era, además, necesario, para formar los amplios pliegues que la componen, un empuje de dirección tangencial. Esta dificultad sugirió la teoría de la contracción de la Tierra y, más tarde, la de los arrastres y cobijaduras, que puede ser considerada como una exageración, de carácter local, de aquélla. Pero también fué necesario renunciar a esta concepción, pues los gigantescos movimientos tangenciales requeridos por las cobijaduras de los Alpes se juzgaron incompatibles con el proceso de contracción de la Tierra. Como, por otra parte, dichos arrastres, conocidos por observación directa, no podían ser negados, pues esto sólo podía hacerse a expensas de deformaciones inadmisibles de los hechos, se hizo preciso renunciar a la teoría de la contracción para recurrir a mo-

vimientos acaecidos en la profundidad de la corteza, es a saber: a grandes corrientes de magma y a recristalizaciones de rocas, es decir, a fenómenos plutónicos, con lo que se retornaba a las ideas de Buch, aunque acomodadas al nivel del conocimiento de la época, pues esta modernísima teoría orogenética se apoya en fenómenos químico-físicos estudiados muy recientemente.

Las teorías geológicas se derivan, como antes se ha dicho, de los principios generales enunciados por la Física y la Química, siendo estas ciencias las que suministran las conclusiones, ya firmemente establecidas, de que parte el geólogo para explicar la formación de la Tierra. No es verosímil que esto pueda realizarse mediante una hipótesis de amplitud universal, pues se correría el riesgo de caer en un esquema excesivamente rígido, al que no sería posible adaptar todos los hechos. Las teorías geológicas, por lo tanto, deben estar dotadas de un cierto grado de flexibilidad, con el fin de no incurrir en el defecto de las sustentadas en el pasado por plutonistas y neptunistas, desechadas hace ya mucho tiempo por carecer de aquella necesaria condición.

LA INDUCCION CIENTIFICA

Sujetándose a las anteriores normas, el geólogo empleará en sus indagaciones, como en otra parte de este trabajo se explicará detalladamente, todas las formas de razonamiento, pero orientando sus esfuerzos en el sentido de elevarse de lo particular a lo general y de lo complejo a lo simple, es decir, aplicando el método inductivo, apellidado «baconiano» por muchos autores de Lógica. Esta denominación, impropia a todas luces por lo que ahora se va a decir, incita a examinar con la brevedad posible las ideas de Juan Luis Vives acerca de lo que hoy se llama «Metodología de las Ciencias». Han sido expuestas por el filósofo valenciano en varias de sus obras, singularmente en la que lleva por título *De Disciplinis*, impresa por vez primera en Amberes el año 1531.

Laméntase Vives de la corrupción en que en el siglo xvi habían caído las ciencias, y señala como causas principales de ella las siguientes: 1.^a El abuso de la especulación, esto es, el desmedido afán de disputar sobre conceptos sutiles e intrincados, algunos —dice— oscuros como oráculos delficos, utilizando con aquel fin exclusivamente la Dialéctica; procedimiento inadecuado para fundamentar conocimiento alguno ni dejar tras sí elementos aprovecha-

bles para la inteligencia de las cosas, siendo las conclusiones a que por dicho método se llega semejantes al humo, el cual se disipa al más leve soplo de viento. 2.^a La exagerada sumisión al principio de autoridad, resultado de no tener en cuenta que la condición fundamental de la verdad científica no es el hallarse de acuerdo con lo afirmado por los sabios de la antigüedad clásica, los cuales han podido equivocarse, sino su perfecta conformidad con las leyes de la razón. 3.^a La imperfecta observación de los hechos del mundo físico, pues el conocimiento que de ellos puede proporcionar la intuición sensible es el fundamento de todo raciocinio enderezado al descubrimiento de la verdad. 4.^a El método de investigación empleado, el cual, como consecuencia de utilizar solamente el razonamiento deductivo, carece de eficacia para elevarse de los efectos a las causas primeras, de lo compuesto a lo simple y de lo singular a lo universal, como exige el método inductivo, único susceptible de fecunda aplicación en las ciencias empíricas. Bonilla San Martín, en su magistral obra *Juan Luis Vives y la Filosofía del Renacimiento*, transcribe copiosos textos demostrativos de lo que se acaba de decir. Las causas de la decadencia de las ciencias, señaladas específicamente por el pensador valentino, son las mismas que aprecia y combate Bacon en su libro *Novum Organum*, publicado el año 1620. El filósofo inglés no cita a Vives en dicho trabajo, de lo que han inferido algunos que Bacon no había leído los libros de Lógica de aquél. Es lo más verosímil, sin embargo, que el autor del *Novum Organum* conociera el tratado *De Disciplinis*, si no por alguna de sus primeras ediciones, por la de Oxford, publicada con notas de profesores de esta universidad en 1612.

Sea de esto lo que fuere, es una verdad inconcusa que Vives, cerca de un siglo antes que Bacon, criticó acremen-

te el abuso en las ciencias del método deductivo y propugnó con decisión, para inquirir la verdad, el método inductivo—que él apellidaba socrático—mediante el cual—dice—fueron inventadas todas las ciencias y descubiertas sus leyes. Veamos cómo describe el docto humanista la inducción científica. Estimulado el entendimiento por el espectáculo del mundo material, investiga y trabaja para llegar al conocimiento de lo que se ofrece a su consideración. Lo indagado por el entendimiento cae después bajo la jurisdicción de la razón, la cual, previo el correspondiente juicio, asiente, disiente o queda perpleja respecto a la verdad de lo juzgado. He aquí el procedimiento que, según Vives, ha de seguirse para que el buen orden de aquellas operaciones nos conduzca al conocimiento, ya de la esencia, ya de los accidentes de lo cognoscible. Detiénese primero nuestra mente en la faz de lo sensible, y, mediante una observación cada vez más depurada, elévase progresivamente hasta la inteligencia de lo fundamental, procediendo siempre de lo conocido a lo desconocido, de lo aparente a lo oculto, de lo cierto a lo incierto. Para que el resultado sea verdadero, es forzoso que la investigación se haya realizado gradualmente, sin soluciones de continuidad ni prematuras anticipaciones. En este proceso intelectual intervienen todas las facultades del ánimo, de las cuales la más elevada es la razón. Consiste su oficio en juzgar o discurrir acerca de los datos que las demás facultades le proporcionan. A tal obra contribuye poderosamente el entendimiento, facilitando a la razón como fundamentales axiomas lo que Vives denomina «informaciones naturales», que no son otra cosa que superiores conceptos impresos en todos los espíritus, mediante los cuales nuestro raciocinio se enlaza de modo gradual y firmísimo con la razón, que es en lo que consiste la ciencia, si es que ésta

puede existir. Hace notar Bonilla San Martín, que las informaciones naturales de Vives equivalen a las categorías, conceptos puros o formas *a priori* de Kant, tal como los define este filósofo en la *Crítica de la Razón Pura*. Vives nos pone en guardia contra el testimonio de los sentidos, el cual a veces puede engañarnos, y más aún contra lo que nuestros particulares afectos nos persuaden, en lo que puede haber también mucho de erróneo. A evitar estos errores tiende la Lógica, cuyo objeto es reducir a preceptos científicos la razón inquisitiva y a agrupar ordenadamente los argumentos que nos llevan a la probabilidad.

En esta clarísima descripción del método inductivo se advierte la precisa división del mismo en dos primordiales operaciones, destinada la primera a la depurada observación de los hechos, e incluyendo la segunda el complicado trabajo mental que nos lleva al conocimiento, no de la verdad, sino de la probabilidad. La segunda operación, por lo tanto, no es otra cosa que lo que los investigadores modernos llaman elaboración de la hipótesis de trabajo. La necesidad de comprobar ésta, por medio del experimento —tercera fase del método inductivo— no era posible que Vives la apreciara, pues en el siglo XVI la experimentación, tal como hoy se la comprende, puede decirse que aun no había nacido.

Podría objetarse, no obstante los indiscutibles méritos de Luis Vives, que su influencia en la investigación científica había sido muy limitada, lo que acaso no carezca de fundamento; pero igual objeción puede ser hecha a Bacon, pues, aunque no se admitan los duros juicios que el *Novum Organum* mereció a De Maistre y Liebig, a los que luego se hará especial referencia, es un hecho comprobado que sólo un pequeñísimo número de hombres de ciencia han leído con atención aquel libro.

Juan Luis Vives, y no Francisco Bacon, fué, por lo tanto, el primero que describió con claridad el método inductivo, considerándole como el razonamiento que va de lo singular a lo universal, de lo complejo a lo simple, de lo conocido a lo desconocido, y el primero también que dió las normas para su acertada aplicación.

El problema del fundamento de la inducción, tan discutido por los filósofos modernos, no interesa al investigador científico. Juzgo útil, sin embargo, analizar sucintamente esta cuestión. Si por un limitado número de experimentos se comprueba en un lugar determinado y en fecha determinada, que el calor dilata los metales, ¿se puede estar cierto, pregunta el metafísico, de que esta conclusión es válida para todos los tiempos y todos los lugares? Todos se hallan de acuerdo en que la inducción se apoya en el postulado de la uniformidad de la Naturaleza, pues si ésta sigue un curso regular e invariable, demostrada una relación causal entre dos hechos, en un momento y en un lugar determinado de la Tierra, se debe necesariamente colegir que dicha relación existirá siempre y en cualquier otro lugar. Pero ¿hay razones para creer que la Naturaleza sigue un curso uniforme? Esta pregunta ha sido contestada de diversos modos.

Los filósofos empiristas, singularmente Stuart Mill en su *Sistema de Lógica*, niegan que el postulado fundamental de la ciencia sea, como pretenden algunos, un principio de la razón anterior y superior a toda experiencia, y defienden con tesón que sólo ésta ha podido enseñar al hombre que la Naturaleza sigue un curso uniforme. El número ilimitado de inducciones realizado desde la infancia de la especie humana, unas denominadas vulgares, llevadas a cabo por el hombre inculto, y otras, más reflexivas, debidas al hombre docto, son, sin duda alguna, las que induje-



ron a la humanidad a admitir aquel principio y a creer, por lo tanto, que mañana como hoy al día sucederá la noche. El postulado de la uniformidad de la Naturaleza, es la síntesis de este ingente cúmulo de experiencias, y es el que justifica la inducción científica, impulsando al investigador a formular leyes que estima válidas para todos los tiempos y todos los lugares. La teoría de Stuart Mill ha sido ampliada, y desde cierto punto de vista reforzada, por el filósofo evolucionista Heriberto Spencer. No es sólo, en el sentir de éste, la experiencia de la humanidad, sino la de todas las especies que la han precedido en el curso de la evolución orgánica, lo que, fijado por la herencia en los cerebros de los hombres, engendró la general creencia en la ley de la uniformidad de la Naturaleza.

La doctrina empirista ha sido duramente criticada por algunos filósofos, entre ellos por el francés Lachelier en una obra, muy celebrada, que lleva por título *El fundamento de la Inducción*. Lachelier rechaza la concepción de Stuart Mill, porque, a juicio de él, el número de pruebas favorables a la ley de causalidad universal será siempre finito, y nunca será posible, por consiguiente, franquear, apoyándose en ellos, la infinita distancia que separa la probabilidad de la certeza. Infiere de esto que el escepticismo es el fruto natural y eternamente renovado del empirismo. Dicho filósofo admite que todo fenómeno está determinado por el que le precede, esto es, por lo que se denomina su causa eficiente, hallándose en esto de acuerdo con las ideas de Stuart Mill. Así, por ejemplo, la combinación del oxígeno y el hidrógeno es la causa eficiente de la formación del agua. Pero el principio de las causas eficientes no basta para explicar de una manera completa, en el caso citado, la formación del agua, porque entre ésta y su causa eficiente se desarrollan fenómenos, verosímil-

mente muy complicados, cuyo mecanismo nos es completamente desconocido, por lo que no podemos, a la luz de aquel principio, tener la certeza de que siempre se producirán. Lachelier juzga necesario, para explicar de un modo perfecto el curso uniforme de la Naturaleza, la admisión de otro principio: el principio de finalidad, por medio del cual la Naturaleza vela, por decirlo así, por la conservación de las especies químicas, como atiende a la conservación de las especies orgánicas, y, por consiguiente, se producirán siempre los mecanismos necesarios para que, en el ejemplo escogido, se forme el agua. La inducción descansa, con arreglo a esto, tanto en el principio de las causas eficientes como en el de las causas teleológicas o finales. Lachelier se esfuerza en demostrar, apoyándose en las ideas de Kant acerca de las nociones de tiempo y espacio y de las categorías o conceptos puros del entendimiento, que dichos principios no son producto de la experiencia de la humanidad, sino leyes fundamentales del pensamiento anteriores a aquélla, es decir, formas *a priori* del espíritu. Sintetiza su pensamiento en estos términos: «El imperio de las causas finales penetrando, sin destruirlo, en el imperio de las causas eficientes, sustituye en todas partes la fuerza a la inercia, la vida a la muerte, la libertad a la fatalidad».

Estas cuestiones, tan gratas al metafísico, rara vez fijan la atención del hombre de ciencia, no obstante creer éste firmemente que la Naturaleza sigue una marcha uniforme. El investigador permanece siempre dentro del dominio de los hechos, y dirige todos sus esfuerzos a formular leyes aptas para regir grandes grupos de éstos, sin parar mientes en si dichas leyes son o no válidas para todos los tiempos y en todos los lugares. Pero como de un determinado orden de fenómenos sólo se conoce un limitado número de los mismos, la experiencia, por sí sola, no basta para poner

de manifiesto el principio que los gobierna, precisándose, si se aspira a aproximarse a este ideal, el persistente empleo por el investigador del trabajo del espíritu. Comienza éste por la observación profunda y reflexiva de los hechos a la sazón conocidos, realizado lo cual, y con el fin de ordenarlos causalmente, construye el que investiga, mediante prolijos raciocinios — estrictamente sujetos a las leyes de la razón — una hipótesis o explicación provisional, la cual, sólo después de comprobada rigurosamente por nuevas observaciones o por el experimento, es erigida en ley científica, a la que, sin embargo, sólo se le asigna un carácter estadístico. El método inductivo, por lo tanto, apoyándose en una experiencia limitada, se eleva trabajosamente a un concepto *a posteriori* caracterizado por su elevado grado de generalidad.

Aunque las Matemáticas son las más generales y abstractas de las ciencias, especulan con frecuencia sobre hechos concretos, como las figuras geométricas, viéndose en estos casos, con perfecta claridad, la importante participación que la capacidad constructiva del espíritu ha tenido en la generalización de los teoremas. El geómetra que demostró que la suma de los tres ángulos de un triángulo equivale a dos rectos, habrá comenzado por trazar sobre el papel un triángulo cualquiera, el cual descompuso en sus ángulos, los que agrupó después de modo que demostraban, en forma indubitable, que su suma valía dos rectos. Repetiría después la demostración con triángulos de las más variadas formas y tamaños, y no tardaría en caer en la cuenta de que la proposición establecida es independiente del valor de los ángulos y la longitud de los lados, y que, por lo tanto, necesariamente había de estar estrechamente relacionada con lo esencial del triángulo, es decir, con su definición. Con esto quedaba demostrada la gene-

ralidad del teorema, pues no es posible imaginar un triángulo que no se ajuste estrictamente a la definición que la Geometría da de esta figura.

Las demostraciones matemáticas se imponen al espíritu con certeza absoluta. No ocurre lo mismo con las conclusiones relativas a hechos del mundo físico, por la razón de no ser posible encerrar a éstos en esquemas lógicos comparables a las definiciones matemáticas. De aquí la actitud excéptica del investigador, la cual no equivale, como afirma el filósofo últimamente citado, a la negación de la Ciencia, pues dicha actitud, lejos de inducir al sabio a renunciar a sus esfuerzos, por juzgarlos estériles, le estimula a persistir en ellos para disipar las sombras que oscurecen su espíritu. Porque, como dice Ortega Gasset, la investigación científica no es otra cosa que el trabajar afanoso de un ser que sintiéndose perdido en el mundo aspira a orientarse.

Los libros de Lógica suelen definir la inducción como el razonamiento que va de lo particular a lo general, de los hechos a la ley. Esta definición dista mucho de ser precisa, entre otras razones, por ser excesivamente simplista, pues la inducción, como acaba de verse, no es un mero razonamiento, sino una operación intelectual mucho más compleja. El método inductivo, como debe ser denominado, puede ser definido en estos términos: es el conjunto de observaciones, razonamientos, hipótesis y comprobaciones mediante los cuales el espíritu, partiendo del conocimiento que, por la intuición sensible, adquiere de un limitado número de hechos, se eleva progresivamente a la ley que rige un número mucho más considerable de los mismos, pero sin abarcar nunca la totalidad del orden a que pertenecen.

NECESIDAD DEL METODO EN GEOLOGIA

Acerca de la necesidad del método en la investigación científica han sido emitidas diversas opiniones. Tanto Descartes como Bacon defienden el punto de vista del valor y la importancia del método. El primero afirma que no basta tener buen espíritu, porque lo principal es aplicarlo bien, y para hacer esto se precisa un buen método, por lo que, cuando se carece de él, el espíritu se agota en esfuerzos estériles. «Valdría más —añade— no soñar nunca con buscar la verdad sobre alguna materia, antes que hacerlo sin método; ya que es muy cierto que los estudios realizados sin orden y las meditaciones confusas perturban las luces naturales y ciegan el espíritu». Hay en esto, en mi sentir, manifiesta exageración, pues no hay razón para dudar de que un entendimiento bien dotado, guiado sólo por el sentido común, puede realizar importantes investigaciones científicas, aunque no haya leído ningún tratado de Metodología. Claudio Bernard sostiene, en cambio, en su *Introducción a la Medicina Experimental*, que el método, por sí sólo, no suministra ideas nuevas y fecundas a quien carezca de ellas, «porque la idea puede ser asimilada a la semilla y el método a la tierra que le presta elementos para desarrollarse, para prosperar y producir los mejores frutos, de acuerdo con su naturaleza». Hay

también en esto evidente exageración, aunque de sentido opuesto a la de Descartes. Las ideas relativas a la Naturaleza no son innatas, como pudiera colegirse de las palabras de Claudio Bernard, sino que nacen de la observación atenta de los hechos y de la reflexión sobre los mismos, y si el que indaga realiza estas operaciones auxiliado por un buen método, es lo más verosímil que con ello facilite y apresure la formación en su mente de conceptos que hasta entonces no habían sido expresados.

Nuestro Ramón y Cajal, en su notable libro —dedicado a la juventud española— titulado *Reglas y Consejos sobre Investigación Científica*, emite juicios, quizás harto severos, sobre los métodos generales de investigación. Se refiere específicamente al *Novum Organum*, de Bacon, y al *Discurso del Método*, de Descartes. Reconoce que uno y otro son libros en extremo excelentes para hacer pensar, por lo que su lectura puede sugerirnos concepciones fecundas, no obstante lo cual declara hallarse próximo a pensar, respecto del *Novum Organum*, lo que opinaban De Maistre y Liebig, el primero de los cuales dice que no lo habían leído los que más descubrimientos han hecho, y afirmando el segundo que Bacon fué un *dilettante* científico, cuyos escritos, muy celebrados por personas ajenas a la investigación, nada contienen de los medios que conducen al descubrimiento. En cuanto al *Discurso del Método*, cree Ramón y Cajal que los preceptos enunciados por Descartes, es a saber: no reconocer como verdadero sino lo evidente; dividir cada dificultad en cuantas porciones sea preciso para mejor atacarlas; comenzar el análisis por el examen de los objetos más simples y más fáciles de ser comprendidos, para remontarse gradualmente al conocimiento de los más complejos, etc., son reglas que nadie deja de emplear instintivamente en el estudio de toda

cuestión dificultosa; estribando el mérito del filósofo francés en haberlas formulado de modo claro y riguroso, después de haberlas utilizado inconscientemente, como todo el mundo, en sus meditaciones filosóficas y geométricas. Atribuye la escasa utilidad para descubrir de las obras citadas y, en general, de todos los trabajos relativos a los métodos filosóficos de investigación, a lo impreciso y abstracto de las reglas que contienen, coincidiendo su opinión, respecto a este punto, con la de Schopenhauer, quien, refiriéndose a la Lógica, dice que el tratadista más versado en su ciencia se olvida de las reglas de ésta en cuanto comienza a discurrir. De todo lo dicho concluye que no hay recetas lógicas eficaces, pues aplicadas por las medianías no conducen nunca al descubrimiento, y el genio no las ha menester, pues éste se educa a sí mismo.

A pesar de tan rotundas afirmaciones, el doctísimo biólogo, incurriendo acaso en leve contradicción, ofrece al investigador, en el libro antes citado, valiosas reglas y utilísimos consejos. Haré solamente breve referencia a los capítulos III y VII. Este último, cuya finalidad es guiar el trabajo de la inteligencia, versa sobre la marcha general de la investigación, y en él describe y analiza el autor las tres operaciones de que consta la inducción, siguiendo en esto —dice— a los tratadistas de Lógica, especialmente a E. Neville. El capítulo III, no obstante preceder al VII, es como el complemento de éste, pues en él se estudian las cualidades de orden moral que deben adornar al investigador, y que son como los depósitos de la energía tonificadora de su voluntad; se endereza, pues, a mejorar esta facultad. Son aquellas cualidades: la independencia mental, la constancia en el trabajo, la religión de la patria y el amor a la gloria. Es indiscutible la poderosa influencia ejercida por las dos últimas, quizá las únicas, entre las citadas, de

orden puramente moral. Todas las demás son absolutamente indispensables al cultivador de la ciencia, mereciendo, a mi juicio, ser particularmente destacada, por haber no pocos hombres estudiosos que desconocen su importancia, la variedad de atención denominada por Ramón y Cajal «polarización cerebral» o «atención crónica», la cual consiste en la persistente orientación —durante meses y aun años o lustros— de todas nuestras facultades hacia un determinado tema de estudio. El fracaso, o el escaso fruto, de muchos entendimientos bien organizados, dedicados a investigación, tiene por causa, según Ramón y Cajal, la carencia de esta preciosa cualidad. Estas ideas concuerdan con las expuestas por Balmes en *El Criterio*. Estima este filósofo que «esa fuerza de voluntad que triunfa de todas las resistencias, que no retrocede ante ningún obstáculo y que no se desalienta con el mal éxito, sólo puede ser engendrada por la combinación de dos causas: una idea y un sentimiento. Una idea clara, viva, fija, poderosa, que absorbe totalmente el entendimiento; un sentimiento fuerte, enérgico, dueño exclusivo del corazón y completamente subordinado a la idea. Si falta alguna de estas dos condiciones, la voluntad flaquea».

La necesidad del método en la investigación científica es innegable. No obstante los juicios adversos emitidos, si los tratados de Lógica son —como los dos últimos mencionados— de aquellos que dictan reglas para guiar el entendimiento y tonificar la voluntad, no hay duda que su estudio enseña y estimula a razonar, siendo éste su más importante servicio, pues aunque se admita que hay diversos medios de alcanzar la verdad, el raciocinio es el que ha conducido a ella en la gran mayoría de los casos. Negar esto sería caer en el error de conceder a la inspiración, al azar y a la intuición un poder del que evidentemente care-

cen. El método, sin embargo, no aspira a enunciar preceptos que conduzcan al descubrimiento, sino simplemente a dar normas para investigar, concretándose, con arreglo a esto, a dirigir el trabajo del espíritu o, en otras palabras, a orientar el esfuerzo mental del investigador. Su utilidad es indiscutible, no sólo para los modestos cultivadores de la ciencia, sino también para los sabios, aunque mucho más para los primeros que para los segundos, pues el genio no necesita de reglas escritas, bastándole, en general, las que la Naturaleza ha impreso en su privilegiado cerebro. El método, por lo demás, no debe consistir en un conjunto de reglas inflexibles, de difícil y a veces imposible aplicación. Debe, al contrario, estar dotado de cierta ductilidad, con el fin de que pueda ser adaptado sin dificultad al objeto de estudio de cada ciencia, y dentro del dominio de cada una de éstas, a las peculiares condiciones mentales del investigador.

MARCHA GENERAL DE LA INVESTIGACION GEOLOGICA

Reconocida la necesidad del método y siendo, entre los excogitados por los lógicos, el denominado inductivo el único que, en las ciencias de la Naturaleza, puede conducir a la elaboración de leyes generales, estimo útil estudiar con algún detalle su aplicación a la investigación geológica. Esto permitirá, de una parte, poner de relieve las peculiaridades que el objeto de estudio propio de la Geología le impone, y ofrecerá ocasión, además, de ampliar y esclarecer algunos conceptos que sólo han sido esbozados en las páginas precedentes. Se supondrá que se va a aplicar el método a la indagación del proceso orogénico, el cual, no obstante venirse discutiendo desde los albores de la ciencia geológica, dista mucho de hallarse satisfactoriamente dilucidado.

A este fin se escogerá, como tema directo de estudio, un grupo orográfico importante, por ejemplo, los Pirineos. Para adquirir una idea clara del grado de conocimiento que de éstos se posee, comenzará el investigador sus tareas por la formación de una completa nota bibliográfica de los trabajos geográficos y geológicos consagrados a dicha cordillera. La mencionada nota incluirá obras de muy distinto valor. La mayor parte de ellas versarán, por tratarse de

una línea de relieve de algunos centenares de kilómetros de longitud, sobre una determinada sección de la misma. Si hubiera alguna que abarcara su totalidad, y fuera como la síntesis de los estudios hasta entonces realizados, ésta será objeto de particular consideración, especialmente si es debida a la pluma de algún geólogo de autoridad, pues su examen puede sugerir una idea de conjunto provisional, que será como el marco dentro del cual permanecerán encerradas cuantas indagaciones se hagan. Dicha idea será sustituida, al final del trabajo, por la propia del investigador, la cual puede diferir mucho de aquélla. Los resúmenes que figuren en la bibliografía, salvo los casos en que hayan sido hechos por los autores de los trabajos a que se refieren, no merecen atento examen. También, en términos generales, deben ser desechadas las traducciones, las cuales, singularmente entre nosotros, suelen ser muy imperfectas, no sólo las de libros escritos en lenguas complicadas y difíciles, como el alemán, sino también las versiones de obras redactadas en idiomas mucho más sencillos y fáciles de dominar, como el inglés y el francés. De los restantes trabajos se dedicará preferente atención a las monografías escritas por orogenistas de prestigio, las cuales deben ser profundamente estudiadas; pero no para seguir irreflexivamente las teorías en ellas expuestas, aunque la opinión general las califique de magistrales, sino para someterlas a severa crítica, con el fin de desentrañar las conclusiones dudosas, las hipótesis discutibles y las lagunas que pueda haber en ellas. En estos estudios previos, lo mismo que en todos los que se hagan después, se esforzará el investigador por considerar los problemas, no bajo el mismo aspecto que los autores de las obras estudiadas, sino colocándose en puntos de vista que le permitan imprimir a sus trabajos un marcado sello personal. Quien no

consiga esto, por carecer de la necesaria cultura filosófica, no es verosímil que realice sensibles progresos en la rama del saber a que se dedique.

Terminado este laborioso trabajo preparatorio, se procederá a la investigación propiamente dicha, la cual, aplicando el método inductivo, consta de tres partes, es a saber: 1.^a Observación de los hechos. 2.^a Elaboración de la hipótesis de trabajo. 3.^a Comprobación de esta hipótesis y, como consecuencia, su elevación, si procede, a ley científica.

Observación de los hechos. — Los hechos que deben ser observados pueden ser clasificados en tres categorías: morfológicos, estratigráficos y estructurales o tectónicos. Por lo que respecta a los primeros, se comenzará por estudiar la orientación general de la cordillera, esto es, la dirección media de los principales elementos orográficos, comprobando cuidadosamente si sus ejes, o líneas directrices —como las denomina Suess—, son sensiblemente rectilíneas, o si, como es lo más frecuente, se doblan trazando una curva más o menos cerrada. En el primer caso se deberá indagar si la forma rectilínea es local, por ser la cordillera un segmento perteneciente a un vasto arco orográfico, algunas de cuyas partes han desaparecido por hundimiento o por erosión, como ocurre en el Tianchán, el cual, después de extenderse en más de 2.500 kilómetros casi de oriente a poniente, se inflexiona primero hacia el noroeste y después hacia el norte, para enlazarse con los Montes Urales, montañas arrumbadas en el sentido de los meridianos. Otro carácter que debe ser analizado es si la línea de relieve está formada por un haz de cordilleras sensiblemente paralelas o si hay macizos transversales a la dirección general de aquélla, siendo

preciso, en este último caso, comprobar si dichos macizos son simples elementos labrados en rocas blandas por la erosión o si, al contrario, tienen por causa perturbaciones locales de orden estructural. Las formas topográficas también serán atentamente examinadas, para discernir si predominan los relieves ásperos y juveniles, hallándose la montaña, como consecuencia de ello, erizada de afiladas crestas y agudos picachos, así como cortada por profundas hoces, lo que será indicio, en general, de que, por remoto que sea su origen, los últimos movimientos alpinos la imprimieron grandes modificaciones morfológicas. El predominio de formas alomadas, y de suaves y abiertos valles, será, al contrario, prueba de que dichos movimientos o no la afectaron de modo sensible o la elevaron en masa sin modificar su relieve. Puede ocurrir, como en la región cántabro-astur, que ambas formas de relieve se hallen entremezcladas, aunque dominando en absoluto la primera de ellas, siendo preciso entonces esclarecer por qué una pequeña parte de la región resistió a las fuerzas orogénicas, mientras que todo el resto fué profundamente trastornado por ellas. No deberá ser desatendido el estudio de la distribución de las altas cimas, con el fin de determinar si las más excelsas se levantan, altivas y señeras, sobre la región montañosa, o se hallan incluídas en un nivel general de cumbres análogo al *Gipfel Flur* de los Alpes, interesante particularidad acerca de cuyo origen tanto se ha disputado. La dispersión fluvial también ofrece singular interés, debiendo, principalmente, ser inquirido el hecho de si la cordillera constituye una verdadera divisoria hidrográfica, o si, como se observa en el Himalaya, las corrientes que descienden por la ladera Norte forman caudalosos ríos —el Indo y el Brahmaputra— los cuales, después de correr en dirección opuesta centenares de kilómetros paralelos a la

inmensa cordillera, se doblan bruscamente, pasando por profundas gargantas a la vertiente opuesta, donde su caudal se engrosa con las aguas de los numerosos ríos que se precipitan por ella.

Conocidos los rasgos fisiográficos primordiales, se procederá al examen de los hechos de orden estratigráfico. Se observa en muchas grandes cordilleras de la Tierra que las formaciones geológicas, como consecuencia de los repetidos movimientos a que aquéllas han estado sometidas, no se superponen unas a otras, sino que se hallan más o menos imperfectamente escalonadas, sucediéndose en el orden cronológico en que fueron depositadas. Poseen dichas montañas, de acuerdo con esto, una zona axial integrada por rocas cristalinas de edad precambriana, es decir, pertenecientes al arcaico y al proterozoico, asociadas casi siempre a rocas hipogénicas ácidas, especialmente granitos, zona que incluye muchas de las cimas más elevadas, y forma como el núcleo o «cordal madre» del grupo orográfico a que pertenece. Aunque dicha zona es de carácter azoico, su edad geológica puede, en la mayor parte de los casos, ser fijada con precisión, por superponerse a ella, en sus bordes, las capas fosilíferas cambrianas, las cuales se muestran en todas partes discordantes con las infrayacentes a ellas. A uno y otro lado de esta zona central se encuentran sucesivamente, cuando se desciende hacia el pie de la cordillera, el paleozoico, el mesozoico y el terciario, formando fajas irregulares paralelas a la zona cristalina. Esta disposición corresponde, verosímilmente, a las épocas o fases en que, atendiendo a los grandes ciclos orogénicos, puede ser dividida la historia geológica de la montaña. Dentro de cada faja se estudiará con detalle la agrupación de los terrenos, prestando atención a las discordancias angulares, los niveles de conglomerados y las la-

gunas estratigráficas, con el fin de obtener una información, tan completa como sea posible, de los actos orogénicos que dejaron impresa su huella en la cordillera. Pero existen otros hechos que, en relación con la genética de las montañas, son dignos de no menor consideración. Ninguna gran cordillera del globo es el resultado de un mero plegamiento de la corteza terrestre. Este proceso geodinámico fué siempre acompañado, no sólo de gigantescas manifestaciones plutónicas, sino también de enérgicas acciones metamórficas, engendradas por las fuertes presiones y las altas temperaturas a que las rocas estuvieron sometidas, las cuales, en ciertas regiones, fueron lo bastante poderosas para transformar en rocas cristalinas a gruesos paquetes de capas sedimentarias. Ambas clases de fenómenos serán objeto de profundo examen por parte del investigador, quien se esforzará en valorar la influencia que cada una de ellas ha ejercido en el proceso de formación de la montaña. Es absolutamente necesario, para evitar graves errores, hacer un perfecto deslinde entre las rocas cristalinas dínamo-metamórficas y las precambrianas, lo que sólo se conseguirá de modo inconcuso, cuando en las primeras se conserven restos orgánicos determinables pertenecientes a las capas sedimentarias que las originaron.

Los hechos del tercer grupo, es decir, los de orden estructural, se nos muestran como la reacción más característica de los sedimentos destinados a constituir la futura montaña, frente al estrujamiento a que, en el curso del período orogénico propiamente dicho, han estado sometidos. Exigen, por lo tanto, un minucioso análisis. Todo movimiento de la corteza terrestre puede ser, mentalmente, descompuesto en una componente vertical y en otra horizontal, dependiendo las deformaciones por él producidas del valor relativo de dichas dos fuerzas.

Cuando predomina la primera y, sobre todo, si se trata de rocas antiguas metamorfoseadas en mayor o menor grado, sus efectos, tanto desde el punto de vista morfológico como bajo el aspecto mecánico, son fáciles de comprender, pues se reducen a fracturas ligeramente inclinadas que dividen el suelo en fajas más o menos angostas, algunas de las cuales se elevan mientras otras descienden a lo largo de las quiebras, originando las segundas hoyas o fosas, y pudiendo dar lugar las primeras, cuando el movimiento ascendente es considerable, a verdaderas montañas tabulares. Durante este proceso la primitiva horizontalidad de las capas puede no sufrir sensible alteración, y la superficie afectada, según el sentido de la inclinación de las fracturas, se ensancha o se contrae levemente. Los elementos de relieve de este modo producidos no deben ser confundidos con otros de análoga morfología, como las «mesas» de la región árida del sudoeste de los Estados Unidos, las cuales, según los geólogos de aquel país, no son de naturaleza tectónica, sino efecto exclusivo de la erosión desértica. Los páramos o alcores, tan frecuentes en el mioceno de la meseta de Castilla, tienen un origen análogo.

Si en el movimiento es la componente horizontal la que domina, entonces la superficie experimenta casi siempre una fuerte contracción. Su primer resultado puede ser la formación de un pliegue de los llamados anticlinales, pero los pliegues de este género suelen ser raros, siendo mucho más frecuente la formación de pliegues inclinados de carácter isoclinal, es decir, aquéllos cuyas dos alas o ramas tienen igual inclinación. Cuando la fuerza plegante se intensifica, la inclinación se acentúa, inflexionándose entonces fuertemente una de las ramas del pliegue, mientras que la otra avanza hasta colocarse sobre la primera, quedando, como consecuencia de ello, el plano axial del primitivo pliegue

en posición próxima a la horizontal y superponiéndose capas de una cierta edad geológica a otras más modernas. Estos pliegues yacentes o tendidos, que se forman siempre en rocas blandas, abundan en el norte de los Alpes de Suiza, por lo que se nombran pliegues de tipo «helvético». Cuando los estratos a que afectan los movimientos orogénicos son, como las calizas, poco plegables, acontece a veces que aquéllas se hienden transversalmente a la dirección del esfuerzo plegante, deslizándose después una de las partes en que quedan divididas sobre la otra, como las bancas de hielo en los ríos de Siberia. Esta singular estructura es la que los geólogos franceses llaman *charriage*, los ingleses *overthrust* y los alemanes *überschiebung*. Nosotros la designamos con el significativo nombre de «cobijadura», tomado de la minería del mediodía de España. Las cobijaduras producen la misma anormal superposición de terreno que los pliegues tendidos. A esta disposición tectónica, por ser frecuente en la caliza compacta de Baviera, se la denomina estructura de tipo alpino-oriental.

La observación de los tipos de estructura debe ser hecha con escrupulosidad extremada. El que indaga procederá en esto sin ideas preconcebidas, con el fin de evitar, entre otras cosas, el dejarse dominar por la opinión de que todas las montañas modernas se han formado con arreglo al modelo de los Alpes europeos, por ser en este grupo orográfico, que es el mejor conocido de la Tierra, donde nacieron las principales teorías orogénicas y, como consecuencia, donde se elaboró parte de la terminología hoy universalmente empleada. En este error cayeron los geólogos franceses Bertrand, Termier y Mengaud, quienes, en sus estudios sobre la región montañosa cántabro-astur, admitieron la existencia de cobijaduras de dimensiones alpinas, cuando, como han demostrado los geólogos españoles

y confirmado después los orogenistas alemanes y suizos que visitaron Asturias en 1926, sólo se encuentran en ella las modestas inversiones estratigráficas que son tan frecuentes en todas las zonas plegadas.

Pero por bien dispuesto que se halle el espíritu del investigador, no por eso dejará de tropezar, en sus indagaciones, con dificultades punto menos que insuperables. Toda estructura, cuando es visible, puede ser observada y representada con un cierto grado de exactitud; y como, por otra parte, el postulado fundamental de la sedimentación nos enseña que los estratos se hallaron siempre, en su origen, en posición horizontal, conocemos el estado inicial y el actual del proceso orogénico, debiendo, por lo tanto, para esclarecerlo —siguiendo el método histórico-geológico—, reconstruir el segundo partiendo del primero. Pero esta reconstrucción está sujeta a inevitables causas de error, pues una parte importante de toda estructura geológica fué destruída por la erosión, y el resto de ella sólo puede ser observado, en las condiciones más favorables, en algunos centenares de metros de espesor, es decir, en las secciones naturales ofrecidas por las paredes de los cañones o quebradas que cortan transversalmente las montañas, ignorándose en absoluto cómo se prolonga la estructura en las profundidades de la corteza terrestre. Esto fuerza a proceder a la reconstrucción del proceso orogénico, disponiendo de un conocimiento muy imperfecto de su estado actual, lo que obliga a suplir la escasez de datos positivos por medios puramente lógicos, los cuales deben ser aplicados sin olvidarse de ninguno de los preceptos y advertencias formulados en páginas anteriores.

El perfil geológico que, como resultado de la reflexión del espíritu sobre el limitado número de hechos conocidos, llegue a trazarse, no podrá nunca ser la representación fiel

de la realidad, sino simplemente la imagen que de ésta se haya formado el investigador. Su grado de exactitud, por lo tanto, dependerá conjuntamente del modo cómo hayan sido observados los hechos y del rigor dialéctico con que se haya razonado acerca de ellos.

Acaso se arguya que secciones geológicas a las que se llegó por especulación sobre un número, a todas luces insuficiente, de datos empíricos, carecen de todo valor. Pero esta apreciación, si se formula en términos tan absolutos, carece de fundamento, pues si los métodos utilizados se aplican con el necesario rigor, el concepto que de la estructura se forme contendrá siempre una parte más o menos considerable de la verdad. Para comprender esto basta comparar los perfiles del Simplón, trazados antes de la perforación del túnel que atraviesa este macizo alpino, con el obtenido después de ejecutada la colosal obra, perfil que es considerado hoy como definitivo.

Se podría alegar también que el reconocimiento del carácter hipotético de los cortes geológicos tiene como consecuencia necesaria el engendrar en el espíritu dudas acerca de toda teoría orogenética que se apoye en hechos tectónicos imposibles de cabal observación. Pero, quien de este modo argumente, se olvida de que todas las teorías científicas, incluso las mejor establecidas, participan de aquel carácter y están, por lo tanto, destinadas a derrumbarse en plazo más o menos largo.

Hipótesis de trabajo.—El caudal de hechos descritos, tanto más útil cuanto más copioso es, no se ofrece a los ojos del que investiga como un todo ordenado y conexo, sino más bien como un conjunto aparentemente caótico, siendo necesario, para proseguir la indagación, comenzar por ordenarlos lógicamente. Se precisa, pues, sis-

tematizar los hechos observados, es decir, inquirir a través de la variedad de lo contingente, lo que hay en ellos de común y necesario, para, por este camino, elevarse al concepto superior que los abarca y traba a todos. La hipótesis de trabajo, o explicación provisional, no es otra cosa que la expresión clara y sucinta de este concepto.

Mientras que en la primera fase de la investigación el hombre de ciencia realiza un trabajo que, en sentido restricto —pues siempre participa en él la reflexión—, puede ser calificado de mecánico, en la segunda se entrega, como ahora se verá, a una labor esencialmente filosófica. Esto pone de manifiesto lo impropio del término «Ciencias Experimentales», aplicado por algunos a las que tienen por objeto el estudio de la Naturaleza, pues en éstas el que indaga, una vez descritos los hechos, abandona el estrecho círculo de la observación y el experimento, para utilizar ampliamente el método peculiar de las ciencias teóricas o especulativas.

Aunque el investigador, en sus trabajosas disquisiciones, se eleva siempre de lo complejo a lo simple y de lo particular a lo general, no emplea solamente, como pudiera creerse, la forma de inferencia que procede de aquel modo, sino todos los tipos de razonamiento conocidos, es a saber: el razonamiento inductivo, el analógico y el deductivo, juntamente con el análisis y la síntesis, pero combinados de modo que sus esfuerzos se orienten siempre hacia lo general, es decir, hacia la ley científica. En este trabajo del espíritu, que, como luego se verá, puede durar no sólo años sino lustros, la imaginación llena un cometido muy importante, el cual consiste en agrupar los hechos de múltiples maneras, pero sujetándose en todo momento, como ya se ha advertido, a los principios generales de la razón. Cuando el investigador conoce todos los

términos del problema, o, dicho de otro modo, la totalidad de los factores que intervienen en él, la solución consiste a veces en ordenarlos de modo adecuado, pues los hechos, en este caso, tienen cierta semejanza con las letras que componen una palabra, las cuales, sólo colocadas en determinado orden forman un vocablo y expresan un concepto. Cuando un hecho conocido, necesario para el esclarecimiento de la cuestión, no ha sido tenido en cuenta, el razonamiento se torna más complicado y laborioso, dilatándose hasta que, como consecuencia de alguna tenue analogía y, por lo tanto, casi inconscientemente, surge el recuerdo del hecho en la mente del investigador, provocando una corriente de pensamiento que conduce al concepto general anhelado. En ambos casos suele ocurrir que la solución se ofrece al espíritu como de improviso, habiendo sido calificado de diversos modos este fenómeno mental, nombrándole unos intuición, otros inspiración, y no ha faltado quien le denomine revelación, esto es, que el esclarecimiento del problema no es, si estos términos se usan en su sentido estricto, un producto del raciocinio.

He aquí cómo se expresa Claudio Bernard respecto a este punto: «Hay hechos que nada dicen al espíritu de la mayoría, mientras que para otros son luminosos; e incluso ocurre que un hecho o una observación permanece mucho tiempo ante los ojos de un sabio sin inspirarle ninguna idea; mas, de pronto, surge un rayo de luz, y entonces el espíritu interpreta el hecho de manera muy diferente a como lo hiciera antes, y encuentra en él relaciones ignoradas hasta aquel momento. La idea nueva se presenta entonces con la rapidez del relámpago, como una especie de revelación repentina; lo que prueba bien que, en este caso, el descubrimiento procede de un sentimiento de las cosas que es, no sólo personal, sino hijo del estado actual

en que se halla el espíritu». Respecto a la participación que el sentimiento tiene, a juicio de algunos pensadores, en la inquisición científica, el profesor Silvanus P. Thomson, en su *Vida de Lord Kelvin*, escribe lo siguiente: «Hay algo que nos revela la existencia de aquello que denominamos intuición de los grandes maestros de la Ciencia, intuición que está seguramente más de acuerdo con las facultades innatas del artista genial que con las facultades disciplinadas del analista o del profesor de Lógica». Otro profesor, también inglés, J. A. Thomson, autor del libro rotulado *Introducción a la Ciencia*, muy leído en España —a juzgar por las ediciones que su traducción ha tenido en nuestra patria— también es de opinión que no parece existir duda alguna acerca de que ciertas conclusiones científicas han surgido en la mente del investigador como una ráfaga de intuición, pero las juzga la posible expresión de largos procesos de actividad cerebral subconsciente. La opinión de Ramón y Cajal tiene algunos puntos de coincidencia con la que acaba de ser reproducida, pues aunque el eximio histólogo nos habla de la inesperada intuición que brota a menudo, como chispa del eslabón, del choque de la discusión científica, considera necesario, para llevar a feliz término una indagación, fijar fuertemente en el espíritu los términos del problema; a fin de provocar asociaciones cada vez más complejas y precisas entre las imágenes recibidas por la observación y las ideas que dormitan en el inconsciente; lo que se alcanza mediante el uso de lo que él llama atención crónica, la cual, condensando toda la luz de la razón en las oscuridades del problema, permite descubrir en él inesperadas y sutiles relaciones.

Ya se ha hecho notar el modo cómo surge en la mente del investigador el concepto que disipa, casi súbitamente, la niebla que parece envolver el tema estudiado. Si en el

momento de percibir la solución pudiera el investigador, mediante un acto reflejo, escrutar atentamente su espíritu, acaso viera con claridad que la solución alcanzada no es obra, como opinan algunos de los autores citados, de un fugaz fenómeno psicológico, semejante al relámpago que brilla en la oscuridad de la noche, iluminando un instante cielos y tierra, sino el fruto, pacientemente esperado, del dilatado y complicadísimo trabajo cerebral a que se había entregado.

Esta parece ser la opinión de algunos de los grandes maestros de la Ciencia. De Isaac Newton se asegura que decía haber llegado al descubrimiento de la ley de la Gravitación Universal concentrando su imaginación sobre el tema durante diecisiete años. Se ignora la significación que daba Newton al vocablo imaginación, pero es lo más verosímil que le usara en el sentido de atención, expresando entonces la frase transcrita, que aplicó al problema —en el lapso de tiempo dicho—, juntamente con la imaginación, todas las demás facultades de su alma. Otro grande hombre de ciencia, Carlos Darwin, da a conocer en su *Autobiografía*, entre otras interesantes noticias, las vicisitudes por las que pasó su teoría de la transmutación de las especies, la que publicó después de veinte años de observaciones, estudios y reflexiones. También nos habla de sus facultades mentales, a las que califica de medianas. Termina su libro con las siguientes palabras: «Mi éxito como hombre de ciencia ha sido determinado por cualidades mentales muy complejas. Entre éstas, las más importantes fueron: el amor a la Ciencia, una voluntad sin límites para reflexionar sobre cualquier asunto, habilidad para reunir y observar hechos y una mediana dosis de inventiva y de sentido común». Ramón y Cajal, como antes se ha dicho, encarece repetidas veces en sus escritos el poder, calificado por él de ma-

ravilloso, de la atención prolongada. Hay, pues, respecto al valor de esta última cualidad, perfecta conformidad entre los tres sabios citados.

Aunque pudieran añadirse otras opiniones, lo dicho autoriza para admitir, como lo más probable, que todos los descubrimientos, incluso los más brillantes, son obra de tres cualidades primordiales, a saber: pasión por el orden de hechos estudiados, una especial habilidad para observarlos y, finalmente, voluntad extremada para reflexionar sobre los problemas que su estudio plantea. Hoy, por lo tanto, como en tiempo de Jenófanes de Colofón, filósofo griego que vivió en el siglo VI antes de Jesucristo, se puede afirmar que el saber no es un don de los dioses —y, podría añadirse, ni una graciosa dádiva de la inspiración o de la intuición—, sino el fruto sazonado de afanosas indagaciones.

Juzgo interesante hacer notar que, en la investigación experimental pura, se presentan también de tiempo en tiempo hechos que, por lo inesperados, causan sorpresa y a veces inquietud al que indaga, pero que, por no ser debidos a delicados procesos mentales difíciles de apreciar, sino a fenómenos materiales que se desenvuelven en la retorta o crisol en que se opera, pueden ser esclarecidos sin grandes dificultades. Citaré, a guisa de ejemplo, el descubrimiento del beneficio de los minerales de oro y plata por azogue, debido a Alvaro Alonso Barba. He aquí cómo le describe el célebre metalúrgico en su libro *Arte de los Metales*: «El año de 1690, residiendo yo en Tarabuco, pueblo de la provincia de los Charcas, ocho leguas de la ciudad de La Plata, su cabeza, queriendo experimentar uno, entre otros modos, que había leído para cuajar el azogue, que había de hacerse en olla o vaso de hierro, intenté a falta suya hacerlo en un perolillo de los ordinarios

de cobre, y no teniendo efecto lo que esperaba, añadí teniendo algunos materiales, y entre ellos metal de plata molido sutilmente, pareciéndome que las reliquias de semilla y virtud mineral que en estas piedras había, con el calor y humedad del cocimiento, podrían ser de importancia para mi pretensión. Saqué, al fin, en breve cantidad de pella y plata, que al principio, como a poco experimentado, me alteró no poco; pero desengañéme presto, advirtiéndome, que era la plata que el metal tenía la que el azogue había recogido, y no otra en que se hubiera en parte transmutado». El párrafo transcrito nos muestra la sorpresa que la inesperada presencia de la plata en el perol causó a Alonso Barba, quien al principio se inclinó a creerla producto de la transmutación de una parte del azogue. Reflexionando sobre el caso y dudando, quizá, de la doctrina, a la sazón muy admitida, de la transmutación de los metales, se convenció presto de que la plata obtenida no podía ser otra que la contenida en el mineral añadido.

En este ejemplo ha sido la reflexión la que, apartando al investigador de un camino erróneo, le mostró otro que le condujo al descubrimiento de un método de beneficio de minerales que, durante los siglos XVII, XVIII y gran parte del XIX, ha tenido extraordinaria importancia industrial.

Conclúyese de todo lo dicho que el hombre de ciencia, para dar cumplido fin a la segunda fase del método inductivo, debe forjar en su mente el concepto superior que, colmando las exigencias lógicas del espíritu y sin contradecir ninguna de las conclusiones hasta entonces establecidas —no sólo por la Geología, sino también por las demás ciencias de la Naturaleza— reduce a perfecta trabazón los hechos considerados. La expresión de este concepto es la hipótesis de trabajo o explicación provisional.

Comprobación.—La teoría científica no debe consistir, como ya se ha dicho, en un esquema rígido sujeto a la única condición de explicar de modo satisfactorio los hechos a la sazón conocidos, sino que debe poseer un grado de flexibilidad que permita hacer entrar en ella, sin deformación sensible, los nuevos hechos que en lo sucesivo puedan ser observados. Como, por otra parte, para imaginar la hipótesis que sirve de fundamento a la futura ley, el investigador utiliza en importante medida, como acaba de verse, el método especulativo, no obstante hallarse apoyada la hipótesis en el firme cimiento de los hechos, puede ser calificada de construcción del espíritu. Este sello lleva la desconfianza y la duda a la mente escéptica del que inquiere, por lo que, para aceptarla, juzga necesario someterla a nuevas pruebas. La hipótesis, con arreglo a esto, debe tener, como segunda condición indispensable, el ser susceptible de comprobación. En las ciencias en que, como la Física y la Química, se estudian fenómenos naturales que pueden ser reproducidos en el laboratorio, u otros que pueden ser artificialmente suscitados en el mismo, es más o menos difícil, pero siempre posible, idear experimentos que demuestren de modo concluyente la validez de una hipótesis. En Geología, como ya se ha dicho repetidas veces, la experimentación es de un uso mucho más restringido, por lo que, en el estado actual de nuestros conocimientos, y fuera de raros casos, no es posible la comprobación de una hipótesis por aquel medio. Pudiera inferirse de esto que, puesto que una de las tres operaciones de que consta la inducción científica no puede ser llevada a efecto, este método no es aplicable en Geología; pero esta inferencia sólo sería cierta cuando no hubiese otro arbitrio que supla al experimento. La Geología, como ahora se verá, no se halla en este caso.

Circunscribiéndose al tema de la Orogenia o Genética de las montañas, el investigador, después de estudiado profundamente el macizo orográfico que haya escogido como objeto directo e inmediato de sus indagaciones, construirá la hipótesis que, a su juicio, explique de modo satisfactorio tanto los grandes rasgos tectónicos, estratigráficos y morfológicos de dicho macizo, como las demás particularidades del mismo que merezcan ser tomadas en consideración. Analizará después, para cotejarlas con la suya, las teorías admitidas para explicar el modo de formación de las montañas mejor conocidas, como los Alpes, las Montañas Rocosas, etcétera, esforzándose en descubrir los puntos débiles de las que se hallen en desacuerdo con la por él propugnada. Terminada esta prolija labor, procederá a la redacción de la correspondiente Monografía, en la que describirá las investigaciones hasta entonces realizadas, hará crítica de las teorías a la sazón más generalmente admitidas y, finalmente, reseñará en términos claros y concisos la por él defendida.

Si el geólogo reunió copia importante de hechos, algunos de ellos no descritos hasta entonces; si para interpretarlos adoptó puntos de vista originales; y si, por último, en la elaboración de la hipótesis, da muestras de singular capacidad especulativa y logra imprimir a su pensamiento una indiscutible dirección personal, es seguro que su trabajo será leído con atención por los orogenistas de otros países. Pero éstos, en general, lejos de admitir la nueva teoría procederán a someterla a implacable revisión, utilizando como piedra de toque los numerosos hechos por ellos ya observados y otros que puedan recoger entre los que la naturaleza ofrece a manos llenas en las montañas de la Tierra. A esta tarea se dedicarán con particular ardor aquellos geólogos cuyas ideas han sido rechazadas por el

autor de la Monografía, y, de éstos, la mayor parte de los que no hallen armas para combatirla, guardarán acerca de ella absoluto silencio. El corolario ineludible de todo esto será, sin embargo, el rápido ensanchamiento del círculo en que se encierran los hechos concernientes al problema orogenético. Mientras los nuevos hallazgos entren fácilmente en el esquema lógico de la concepción, ésta permanecerá enhiesta y firme, derrumbándose, en cambio, en el momento en que uno de los hechos observados no pueda ser cumplidamente explicado. No es ésta la única causa de ruina de una teoría geológica, pues hay otras que inexorablemente conducen al mismo resultado, mereciendo, entre éstas, ser citada los posibles descubrimientos de naturaleza cualitativa que fuercen a dar a algunos de los hechos conocidos una interpretación distinta de la que hasta entonces se les había dado.

Vemos, pues, que existen medios distintos de la experimentación que permiten llevar a cabo la gradual e ininterrumpida comprobación de la validez o de la inexactitud de una hipótesis geológica. Como la comprobación, de un modo completo, no puede ser realizada, porque el número de hechos ignorados es ilimitado —existiendo siempre, por lo tanto, la posibilidad de que llegue el día en que se observe alguno imposible de explicar — toda teoría, por bien fundada que nos parezca, debe ser calificada de «hipótesis de trabajo». Aunque ésta no llegue nunca a ser erigida en ley natural, no por eso carece de particular utilidad, pues, como acaba de verse, estimulando la investigación, contribuye poderosamente al progreso de la Ciencia.

CONCLUSION FINAL

La Geología difiere considerablemente, sobre todo por su objeto, de las demás ciencias de la Naturaleza, pues mientras en éstas los hechos sometidos a estudio pueden ser directamente observados, en Geología, salvo el grupo de los fenómenos actuales, todos los demás, los cuales constituyen la gran mayoría de los investigados, pertenecen al pasado de la historia de la Tierra. Los fenómenos geológicos ofrecen, además, otra particularidad, la cual consiste en que tanto por las enormes masas de rocas que en ellos participan cuanto por su larga duración, son imposibles de reproducir en el laboratorio, siendo esta la causa principal de la restringida aplicación que el experimento tiene en Geología, en contraste con el continuo uso que del mismo se hace en otras disciplinas, principalmente en la Física y la Química. En especial, los llamados métodos de medida, de los que tanto partido se saca en estas ciencias, por permitir reducir a frías pero claras y precisas fórmulas matemáticas muchos de los resultados obtenidos, por las razones antes alegadas, carece casi de aplicación en Geología. Parece, pues, que en esta ciencia, por razón de las particulares condiciones de su objeto, no es posible llegar a conclusiones comparables por su exactitud a las alcanzadas por otras ramas del saber.

Esta opinión es consecuencia, a mi juicio, de la actitud mental de muchos hombres de ciencia modernos, para quienes los hechos tienen un valor lógico que por ningún concepto les pertenece. Por escrupulosamente que hayan sido observados y por perfecta que sea la descripción que de ellos se posea, los hechos, por sí solos, nada enseñan acerca de las leyes que los rigen, precisándose, para convertirlos en conocimiento científico, construir una hipótesis que permita ordenarlos causalmente, lo que, en la mayoría de los casos, sólo se consigue mediante un dilatado trabajo intelectual llevado a cabo con extremado rigor dialéctico. La precisión con que se observen los hechos contribuirá —no cabe dudarlo— a facilitar este trabajo, pero en modo alguno garantiza su feliz remate. La historia de las ciencias pone de manifiesto que mucho antes de haber sido hechos estudios profundos sobre Metodología y cuando los medios auxiliares del investigador se hallaban muy lejos de haber alcanzado el grado de perfección que hoy tienen, ya habían sido enunciadas algunas de las grandes leyes científicas. Esto demuestra que los sabios que dieron cima a estos importantísimos descubrimientos, no obstante haber partido de observaciones toscamente realizadas, tuvieron capacidad cognoscitiva suficientemente poderosa para apreciar lo esencial de los hechos considerados, lo que les permitió elevarse a la clara intuición del concepto que los abarcaba a todos.

La causa de esto acaso radique en que no son siempre los elementos susceptibles de ser cuidadosamente medidos o pesados los más importantes de un proceso. El espesor de un estrato de caliza, por ejemplo, tiene cierto valor para el geólogo, pero muy inferior al que éste concede a las condiciones paleogeográficas, químicas y biológicas en que el estrato se depositó, así como a las plegadu-

ras y dislocaciones experimentadas por éste como resultado de las acciones geodinámicas que, con posterioridad a su sedimentación, actuaron sobre él. Ninguno de estos factores, que en concepto científico son los primordiales, pueden ser medidos con precisión.

La determinación exacta de los elementos de un hecho no parece tener, por lo que queda dicho, la decisiva influencia que le otorgan muchos hombres de ciencia. El número de hechos de que en cada caso se dispone puede, en cambio, influir de modo sensible en el resultado de la indagación, pues cuanto mayor sea aquél más elevado será el punto de vista en que el investigador podría colocarse, lo que le permitirá apreciar más claramente las relaciones generales que inquiere. Bajo este aspecto el geólogo ocupa una situación privilegiada, pues, aparte de ofrecerle la Naturaleza hechos en número casi ilimitado, goza en sus trabajos de una libertad que no tienen los cultivadores de las ciencias experimentales propiamente dichas, los cuales, necesariamente, deben permanecer como encerrados en el estrecho e inflexible círculo en que se desarrollan los fenómenos que estudian.

No hay, pues, razones para afirmar que las leyes formuladas por el geólogo se asientan sobre bases menos sólidas que las debidas a investigadores pertenecientes a otras disciplinas. Los casos, citados en este trabajo, de viejas teorías que fué forzoso abandonar, como consecuencia de haber sido puestos de relieve los errores que entrañaban, no son peculiares de la Geología, puesto que hechos análogos se han registrado en todas las ciencias. En opinión de no pocos físicos y matemáticos se asiste hoy al derrumbamiento de una teoría general, considerada hasta hace poco como certísima por los hombres de ciencia: la teoría de la Gravitación Universal. Los fundamentos

de ésta, juzgados punto menos que inconmovibles, comenzaron a debilitarse cuando, en 1909, expuso Alberto Einstein su doctrina de la Relatividad. Pero se debe hacer notar que este resultado no fué debido, como pudiera esperarse, al hallazgo de hechos que arrojaron nueva luz sobre el problema de la concepción del Universo, sino a la reflexión sobre hechos ya conocidos de antiguo, es decir, al trabajo del espíritu, acerca de cuya importancia tanto se ha insistido en el presente escrito. Para idear dicho sabio su imagen del mundo comenzó por arruinar los tres conceptos fundamentales de la física newtoniana: el espacio absoluto, el tiempo absoluto y la masa absoluta.

Esta parece ser también la opinión de J. Huxley, quien, en un libro traducido recientemente al español —*La Herencia*, Buenos Aires, 1944— dice lo siguiente: «El conjunto de hechos aceptados que existen en los archivos de las ciencias naturales no tiene mayor valor, en sí mismo, del que pueden tener las máquinas: se necesitan hombres, con conocimientos especiales para hacerlas funcionar, es decir, para vivificarlas. El *corpus* de hechos que para algunas personas constituye la realidad de las ciencias naturales, es sólo una amplia colección de cosas inertes, algo así como un almacén de trastos viejos, hasta que nazca un hombre con mentalidad suficientemente vigorosa para prestarles vida».

SOBRE EL DESCUBRIMIENTO DE UN NUEVO YACIMIENTO DEL MEOTICO EN EL VALLES

POR

M. CRUSAFONT PAIRO y J. TRUYOLS SANTONJA
DEL INSTITUTO «LUCAS MALLADA»

PREAMBULO

Las faunas de mamíferos descubiertas de un tiempo a esta parte en el Mioceno de la Depresión Prelitoral Catalana (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7), han prestado un inapreciable servicio a la estratigrafía para poder precisar con exactitud los diversos niveles. De esta manera, se ha logrado poner de manifiesto la existencia de los pisos Vindoboniense y Pontiense con una fauna absolutamente característica, exhumada a través de los años (1, 2, 8). Más recientemente, el estudio afinado de algunas faunas ha logrado demostrar la existencia de un horizonte de transición entre el Vindoboniense y el Pontiense: el Meótico (9, 10), hoy día ya suficientemente caracterizado por una asociación faunística muy particular.

La identidad de facies entre el Vindoboniense y el Pontiense en la Depresión Prelitoral, obliga, pues, a acudir frecuentemente al uso del método paleontológico para el deslindamiento de los pisos indicados; difícilmente el criterio de facies puede ser utilizado ante las frecuentes variaciones del régimen sedimentario. En el sector del Penedés, al Norte del río Anoia, donde se ha encontrado una notable fauna en las arcillas abarrancadas en «bad lands», el yacimiento de Hostalets de Pierola es continuo desde el

Vindoboniense inferior hasta el Pontiense típico en sus niveles bajos. En el Vallés, cuyo Mioceno es mucho más detrítico, los yacimientos fosilíferos no se encuentran formando continuidad como en el Penedés, y ello conduce a una natural dificultad para el establecimiento de una precisa divisoria entre ambos pisos.

El hallazgo de un nuevo yacimiento con «fauna de *Hipparion*» en las inmediaciones del clásico yacimiento vindoboniense de Sant Quirze, aporta nuevos datos para la solución del pequeño problema del deslindamiento de los tramos correspondientes a los pisos mencionados. En el presente trabajo se da a conocer este interesante yacimiento con la fauna hallada, a la vez que se hacen ciertas consideraciones, de carácter estratigráfico, sobre las formaciones con el mismo relacionadas.

EL VALLES OCCIDENTAL Y SU MORFOLOGIA

Limitada por la Cordillera Costera Catalana y por la del Interior, entre el bloque del Montseny y el curso del Llobregat, la comarca del Vallés forma parte de la fosa tectónica conocida desde Almera con el nombre de Depresión Prelitoral Catalana. Hundida la dovela entre dos rígidos pilares, a mediados de la era terciaria, está colmatada por depósitos pertenecientes a los períodos Oligoceno, Mioceno y Cuaternario. El Oligoceno forma la base sedimentaria, directamente apoyado sobre el substrato paleozoico; sobre él, y de manera discordante, se apoyan los materiales miocenos, que alcanzan un considerable desarrollo. Los depósitos cuaternarios forman pequeños mantos de distinto origen que recubren, total o parcialmente, la masa de aluviones más antiguos.

El máximo desarrollo que adquieren las formaciones miocenas en el Vallés hace que sean ellas las que condicionan casi totalmente su morfología, en consonancia con su naturaleza litológica. La existencia de niveles marinos y continentales con distinta composición petrográfica, los distintos cambios de naturaleza en la sedimentación, dictan una desigual resistencia de los materiales a los efectos de la erosión diferencial.

Ciñéndonos a la zona occidental del Vallés, que ha podido fecharse mejor por la abundancia de yacimientos fosilíferos, distinguimos la presencia de una zona de relieves extendidos de NO. a SE. desde Olesa, en el borde de la depresión, hasta Sardanyola, en el mismo cono de deyección de todos los ríos y «rieras» del Vallés. Estos relieves, conocidos generalmente como «serralada» central del Vallés occidental, han sido considerados por algunos autores, Elías principalmente (11, 12, 13, 14), como una entidad tectónica propia, si bien, como afirma Llopis Lladó (15), son simples resultados de la erosión diferencial sin apenas presencia de dislocaciones importantes. Constituidos por conglomerados miocenos con frecuentes intercalaciones de lentejones arcillosos y arenosos, destacan del paisaje circundante; la erosión diferencial ha modelado sobre ellos un suave relieve que, hacia la zona occidental (Ullastrell), presenta abarrancamientos de cierta consideración. Sin embargo, su altura es modesta, puesto que se elevan a sólo 100 metros de su base Norte y algo más de su base Sur. Los vértices más notables, Mas d'En Ribes (253 m.), Can Bayona (301 m.), Ullastrell (342 m.), La Creu dels Batlles (385 m.), Montagut (403 m.) y Can Camps (287 m.), jalonan la «serralada» de NO. a SE., dejando sus bases a 280 metros (Tarrasa), 170 metros (Sabadell), 140 metros (Rubí) y 70 metros (Sardanyola).

Esta alineación determina la existencia de dos subdepressiones marginales. La subdepresión meridional (Rubí-Sant Cugat-Sardanyola), extendida hasta el bloque paleozoico del Tibidabo, está constituida por los débiles materiales de la invasión marina helveciense que se extienden hasta cerca de Mollet; la erosión fluvial (riera de Sant Cugat) se ha encargado de la formación de esta pequeña hoya al denudar las margas y calizas. La subdepresión

septentrional, extendida hasta las estribaciones del complejo geológico de la Cordillera Prelitoral, está colmatada por materiales generalmente finos (margas y arcillas fosilíferas) de origen continental, fácilmente atacables por los agentes de la erosión; en ella están ubicadas las industriosas ciudades de Tarrasa y Sabadell. La «serralada» forma, pues, un resalte gracias a la petrografía, una larga hombrera con derivaciones hacia Norte y Sur, que separa más o menos regularmente ambas subdepressiones desde la ermita de Sant Pere Sacama, en Olesa, hasta el castillo de Sardanyola, desapareciendo definitivamente ahogada bajo los acarreo cuaternarios de la línea de drenaje del Ripoll.

Antecedentes

Por su proximidad a Barcelona, la comarca vallesense ha sido conocida, desde el punto de vista geológico, de hace mucho tiempo. Aparte los primeros trabajos de mediados del siglo pasado, de Vezian (16), Maestre (17) y Carez (18), el primero que estudió con cierta detención la gea de esta comarca, fechando el paquete estratigráfico de la depresión, fué Almera, a la luz de los hallazgos paleontológicos del momento. Las citas de *Hipparion gracile* de los alrededores de Sabadell y de Tarrasa (1, 2), y de unos restos de flora fósil con *Tipha latissima* en la incipiente formación lignitífera de Viladecaballs-Ullastrell (Can Cabassa) (19), inclinaron a Almera a considerar de edad pontiense toda la masa sedimentaria continental.

De acuerdo con los hallazgos de *Hippopotamus major*, *Ursus spelaeus* y *Equus* sp., citados por Almera (20), y clasificados por Depéret, publica Palet y Barba en 1894 (21) su memoria sobre el Plioceno de Tarrasa, así como un

mapa geológico de los alrededores de la ciudad. Estos terrenos no han sido discutidos más tarde, aparte de varios de los desperdigados artículos del tarrasense Elías (*).

De 1922 es la aparición de la Memoria de Royo y Gómez sobre el Mioceno continental ibérico (23). Al tratar de la cubeta prelitoral catalana, se limita a realizar un resumen de lo publicado anteriormente por Almera.

Hallazgos posteriores procedentes de un nuevo yacimiento descubierto en una trinchera del ferrocarril al Sur de Sant Quirze de Galliners (yacimiento de Sant Quirze), y dados a conocer por Bataller en algunos trabajos (4), hacen dudar a éste, más tarde, sobre su verdadera edad. En 1926, con motivo del Congreso Geológico Internacional, publica un trabajo (8) en el que se inclina a considerar su

(*) Conviene precisar algo sobre este pretendido Plioceno egarense, pues la cuestión no ha sido aún resuelta definitivamente. Almera, del conjunto de los hallazgos citados más arriba, deduce una edad correspondiente al nivel de St. Prest y sincrónica (?) del Siciliense (22), y de ello concluye que el yacimiento sería del Plioceno superior. Debemos decir, en primer lugar, que hoy en día ni el nivel de St. Prest ni el Siciliense (por lo demás, superior este último al primero, según Pilgrim, 39) son considerados como pliocenos, sino formando parte del Pleistoceno inferior. De otro lado, el hallazgo del *Ursus spelaeus*, no puede de ningún modo argüir a favor de un nivel plioceno (tal como éste se considera actualmente), puesto que la más antigua edad que se le atribuye corresponde al primer período interglaciar (o sea entre el Günz y el Mindel). Esta es precisamente la especie característica del conjunto de la fauna reseñada; *Hippopotamus major* abarca el Villafranchiense y el Cuaternario; para la cita genérica del *Equus*, podemos decir exactamente lo mismo. De todo ello se concluye que la existencia del Plioceno en Tarrasa se ha basado en un concepto arcaico del criterio estratigráfico y de la delimitación entre el Plioceno y el Pleistoceno; esto debió ser ayudado, a nuestro juicio, por haberse hallado los tales restos en un tramo inferior (pozo) a los niveles superficiales de la terraza del torrente de Sant Pere.

En resumen, pues, el Plioceno señalado en Tarrasa por Palet y Barba fué deducido de una asociación faunística que hoy puede darse perfectamente como pleistocena.

fauna como Vindoboniense, introduciendo así un nuevo piso en la estratigrafía de la depresión.

Por estas épocas, Elías publica varios folletos (11, 12), donde, partiendo de una base poco convincente, considera la edad de los relieves superiores del Vallés como sarmatienses, es decir, supravindobonienses. La edad del «levantamiento de la cadena» (Elías la considera de origen tectónico), sería Sarmatiense-Pontiense.

En 1930 aparece la Hoja número 420 del Mapa Geológico de España, San Baudilio de Llobregat (24), bajo la dirección inmediata de los doctores San Miguel, Sierra Yoldi y Marcet Riba, que alcanza un fragmento vallesense. En la Memoria correspondiente se resumen y compendian las aseveraciones de Almera y Bataller, ya citadas.

El geólogo mallorquín Darder Pericás, con motivo de un estudio hidrológico que realiza en Sabadell, publica en 1930 un trabajo (25) sobre los terrenos situados al Norte de esta ciudad. En este interesante estudio apenas se roza, sin embargo, nuestra cuestión, suscribiendo el autor las últimas opiniones de Bataller.

En 1933 sale a luz una primera nota paleontológica del primero de los firmantes en colaboración con Villalta Comella (5), al iniciar una intensiva campaña explorativa en los yacimientos de vertebrados del Mioceno de la Depresión Prelitoral. Los hallazgos realizados han mostrado una asociación faunística que hace al yacimiento de Sant Quirze sincrónico del clásico Vindoboniense superior de La Grive Saint-Alban, en el Valle del Ródano.

A la luz de los documentos paleontológicos se ha establecido, en una nota estratigráfica (Villalta-Crusafont, 1944) (26), la existencia de dos niveles claramente manifiestos: uno inferior, Vindoboniense, con la abundante fauna de Sant Quirze, y otro superior, Pontiense, con una serie de

yacimientos, algunos de ellos inéditos. En cuanto a los relieves de la «serralada», se citan ambos niveles: el Vindoboniense, que asoma solamente en la parte oriental (Serra de Galliners) y el Pontiense, que forma el caparazón centro-occidental.

Posteriormente Llopis Lladó, en un trabajo tectomorfológico sobre el Tibidabo (15), cita la formación miocena y se ocupa de los relieves, pero sin considerar los pisos existentes.

En otro trabajo posterior (27) vuelve a pulsar el mismo tema, especialmente desde el punto de vista litológico, describiendo la serie estratigráfica de la zona Viladecaballs-Ullastrell-Tarrasa, y reconociendo ambos pisos y mencionando el régimen torrencial de la sedimentación.

Finalmente, el hallazgo de nuevos yacimientos (28) y la ampliación de las listas faunísticas (7) ha obligado a una rectificación en lo que a fecha de los estratos fértiles supravindobonienses se refiere. La fauna de los yacimientos de los alrededores de Viladecaballs ha resultado sincrónica a la de las localidades ucranianas del mar Negro, pudiéndose, por tanto, encajar dichos niveles en el Meótico de Androussov, estadio de transición entre el Vindoboniense y el Pontiense (10).

En el estado actual de nuestros conocimientos nos encontramos, pues, con los siguientes pisos para el paquete estratigráfico del Mioceno continental del Vallés:

VINDOBONIENSE.—Capas de Sant Quirze, niveles inferiores al clásico yacimiento; parte oriental de los relieves centrales (Serra de Galliners).

SUPRAVINDOBONIENSE.—Niveles superiores a San Quirze, yacimientos de los alrededores de Sabadell, Ta-

rrasa y Viladecaballs; zona centro-oeste de los relieves de la «serralada».

El límite entre ambos pisos pasa entre el horizonte de Sant Quirze, Vindoboniense, y el más próximo, Pontiense, del subsuelo de Sabadell.

Estratigrafía de la zona

La zona oriental de los relieves de la «Serralada Central», atravesada en su borde por la línea de los Ferrocarriles de Cataluña, que enlaza Sabadell con la capital del Principado, presenta un conjunto de trincheras y desmontes, muy útiles para observar la estratigrafía de este sector. Desde Sant Cugat a Sabadell podemos seguir la serie sedimentaria vindoboniense completa.

Sant Cugat del Vallés, villa edificada sobre los acarrees de la riera de su nombre, se encuentra en la hoya de erosión excavada sobre las margas y calizas helvecienses, que por doquier afloran, ahogadas apenas por un débil manto cuaternario. En las trincheras próximas a la villa, unos hectómetros al Norte de la estación, asoman por debajo del Cuaternario las capas abigarradas con nódulos de creta de las margas helvecienses que, en varios puntos cercanos, han proporcionado una fauna con *Ostraea crassissima*, *Lucina miocaenica*, *Conus mercatii* y *Arca (Anomalocardia) diluvii*, ya conocida de hace años (29, 30, 24, 31, 32). Estas capas buzan claramente unos diez grados al Norte en casi todo el Vallés.

En la trinchera comprendida entre los kilómetros 2 y 2,200, algo más arriba de los yacimientos helvecienses de Can Vallet y Can Vulpalleres, aparece, en superposición normal con los materiales reseñados, una formación de

margas silíceas algo hojosas, con intercalaciones de arcillas. Estas capas buzan también unos 10° NE. y, aunque son aquí estériles, poseen una facies lacustre o salobre y debemos suponerlas depositadas tras la regresión marina, cuando el Vallés quedó convertido en una cuenca endorreica. Algunas capas presentan un tono verde-azulado que recuerda algo el de los niveles tortonienses con *Pleurotoma* del Penedés. Su grosor es variable, según los puntos de referencia: en la vía férrea tiene un espesor quizá de 15 metros, aunque por el poco desnivel del camino de hierro se vayan encontrando estas capas durante un trecho de más de dos kilómetros. En cambio, en el torrente de Can Fatjó, entre el paso a nivel y la propia masía de Can Fatjó dels Hurons, se presentan abarrancadas con un espesor visible de unos 30 metros. El buzamiento se hace más suave cuanto más al Norte nos dirigimos, hasta hacerse prácticamente nulo en las inmediaciones de la urbanización de Bella-Terra. En el kilómetro 3,300, estas margas aparecen dislocadas por la presencia de una clarísima falla de un metro de salto.

Más arriba, y antes de desaparecer estas margas debajo de un espeso lecho de conglomerados, se encuentra una intercalación detrítica con finos elementos, acusando una estratificación cruzada bien visible; son los últimos restos finos del caparazón pedregoso que forma la Serra de Galliners. Por espacio de un kilómetro, las margas se presentan recubiertas por conglomerados continentales, terminando en cuña, casi horizontalmente, unos hectómetros más allá de la estación de Bella-Terra.

Sobre dicha masa margosa se presentan lentejones de conglomerados poligénicos (cuarzo + pizarras paleozoicas + calizas eocenas, en cantidades aproximadamente iguales) que se continúan lateralmente hacia el Oeste y au-

mentan de potencia, formando la masa detrítica de la «seralada». En este sector se muestran sensiblemente horizontales, aunque es frecuente la estratificación cruzada.

Más arriba, y entre los kilómetros 5,300 y 5,500, el ferrocarril penetra en una trinchera que forma a modo de collado de la Serra de Galliners, estribación oriental del conjunto de relieves modelados sobre el Mioceno detrítico. Por un cambio de régimen en la sedimentación, los conglomerados aparecen transformados en areniscas pálidas y arcillas con nódulos de creta, alternando con pequeñas hiladas detríticas. Los estratos que, al principio, buzan muy suavemente hacia el Sur (unos 10°), forman una flexión o pequeño anticlinal, ya que en la parte septentrional las capas se inclinan, de manera muy manifiesta, unos 30° en dirección a Sabadell. Esta flexión, que podemos denominar de Sant Pau, por hallarse en las proximidades de la ermita de Sant Pau de Riusec, no hemos podido proseguirla más al Oeste, pero no obstante posee poca importancia tectónica, siendo así que es un simple accidente local. Esta flexión aparece fallada; los planos de falla del flanco Norte y del flanco Sur convergen hacia el núcleo del anticlinal. La falla más septentrional tiene un salto aproximado de tres metros; las demás son mucho menos importantes (véase fig. 1).

Por el hecho de esta vergencia de las capas del flanco Norte, todos los estratos atravesados por la vía férrea, desde este punto hacia el Norte, son manifiestamente superiores a los niveles de la flexión de Sant Pau. Los conglomerados, cortados, pues, por la vía férrea, inmediatamente antes de alcanzar el famoso yacimiento de mamíferos de Sant Quirze (trinchera del Contratista) deben, pues, colocarse en posición intermedia.

Sobre esta masa descansa una interpolación de arcillas

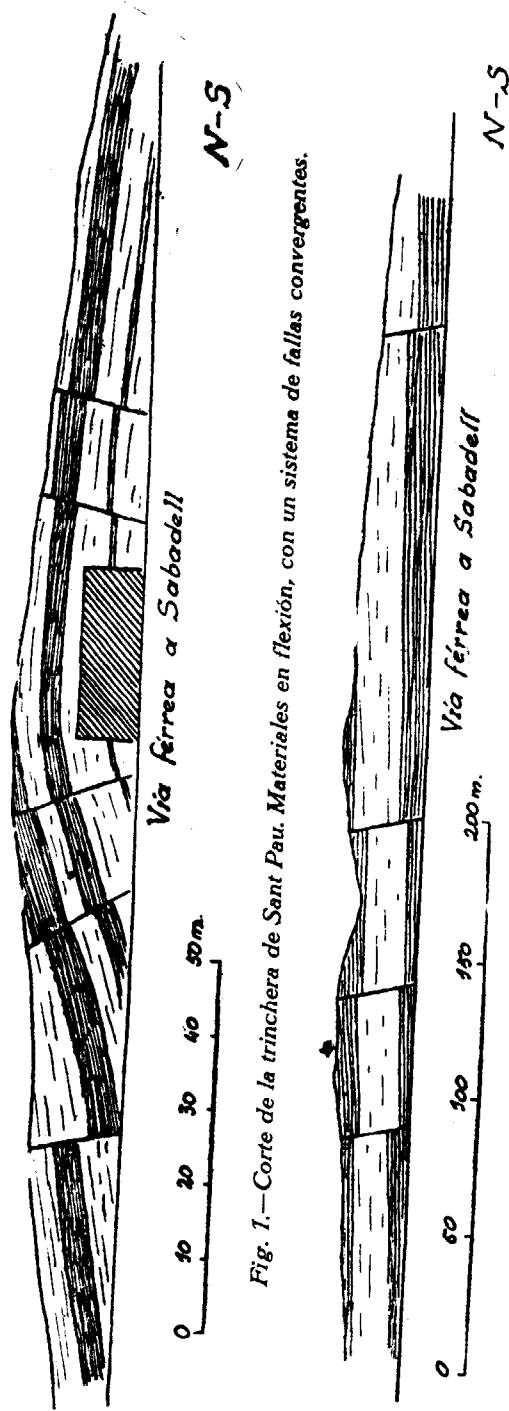


Fig. 1.—Corte de la trinchera de Sant Pau. Materiales en flexión, con un sistema de fallas convergentes.

Fig. 2.—Corte de la trinchera «del contrastista». Yacimiento vindoboniense de Sant Quirze.

y limos sobremanera finos, que indican un oasis palustre entre el conjunto estratigráfico de régimen totalmente torrencial. Estas capas pelíticas alojan una rica fauna de vertebrados (más de treinta especies) con *Mastodon angustidens*, *Macrotherium grande* y *Dicerorhinus sansaniensis*, y de gasterópodos de agua dulce (*Helix*, *Glandina*, *Lymnaea*), ampliamente característicos los primeros, para permitir fijar con exactitud la edad de estos depósitos como del Vindoboniense final. Cortados por una trinchera de medio kilómetro de longitud, la vía férrea ha facilitado el descubrimiento del yacimiento y la exhumación del abundante material fósil. La estratigrafía detallada del yacimiento muestra la siguiente serie de abajo a arriba (véase fig. 2):

- 1) Margas con nódulos calcáreos.
 - 2) Margas verdosas con nódulos de creta y lentejones arenosos. Fauna de mamíferos.
 - 3) Margas negras con gasterópodos. 20 centímetros.
 - 4) Margas verdosas con nódulos de creta. Fauna de mamíferos. 50 centímetros.
 - 5) Arcillas pardas con intercalaciones verdosas que se hacen más compactas hacia la parte superior. Con *Testudo*. 180 centímetros.
 - 6) Margas verdosas con nódulos de creta. Fauna de mamíferos. 150 centímetros.
- Arcillas del Cuaternario y tierra de labor.

A pesar de la notable plasticidad de estas margas y arcillas, aparece el conjunto visiblemente dislocado por la presencia de un sistema de fallas y microfallas orientadas en la misma dirección de las fallas maestras que hundieron la fosa tectónica del Vallés, entre el horst del Tibidabo y el antepaís del macizo del Ebro. Estas fallas, de edad rodánica, valáquica o postvaláquica (pues son posteriores al Vindoboniense), denuncian la perpetuación póstuma de los movimientos tectónicos en esta zona. La falla situada

frente al kilómetro 6,800 tiene un salto de unos cuatro metros; el de las demás es algo menor.

Pasada dicha trinchera se hace difícil observar los niveles inmediatamente superiores, por aparecer recubiertos por los aluviones cuaternarios de la terraza superior del Ripoll, sobre la que está edificada la ciudad de Sabadell. Unos hectómetros más arriba del yacimiento, el ferrocarril perfora la citada terraza al entrar en la estación de Sant Quirze. Los pozos abiertos al subsuelo sabadellense indican que a una profundidad relativamente escasa (por lo demás variable según los puntos: relieve fósil postpontienense), aparecen ya los niveles miocenos, en los cuales se ha descubierto una fauna con *Hipparion gracile*, *Mastodon longirostris* y *Dicerorhinus schleiermacheri*, que demuestra una edad supravindoboniense (*). Estas capas afloran al exterior en el escarpe de la orilla izquierda del Ripoll, coronado por la terraza superior donde está edificado el cementerio de Sabadell. Si bien la edad es distinta, el aspecto de los materiales es, en cambio, muy parecido al de los niveles de Sant Quirze, quizás algo más grosero y calcáreo. Más al NE. otros hallazgos paleomastológicos atestiguan que la formación pontiense se extiende hasta el contacto con la Cadena Prelitoral. Donde el material no es muy grosero y afloran arcillas, margas y arenas, aparecen restos de vertebrados: así las citas de Riu Tort, La Salut, Polinyá (Can Alzina) (6) y finalmente Caldes de Montbui (33) en sedimentos de arcosas junto al borde de la depresión.

El corte reseñado de Sant Cugat a Sabadell, presenta, pues, de abajo a arriba los siguientes niveles (véase figura 3):

(*) En realidad, aparecen ya estos niveles en el Mas Durán (*Hipparion gracile*).

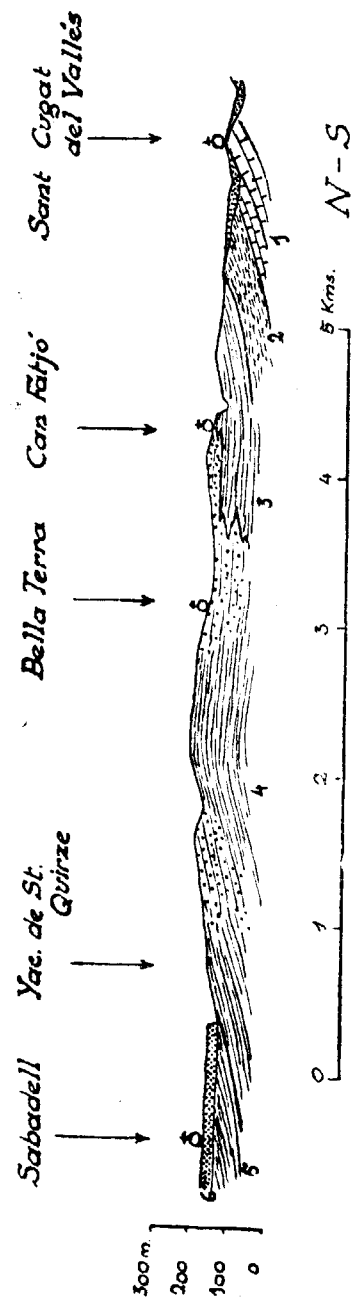


Fig. 3.—Corte del Vindoboniense del Vallés occidental, a través de la línea de los Ferrocarriles de Cataluña. A: Formación marina.—1. y 2. Calizas y arenas helvencienenses. —B: Formación continental.—3. Arcillas hojosas del Vindoboniense medio.—4. Conglomerados, margas y arcillas del Vindoboniense medio y superior.—5. Arcillas pontienenses.—6. Terraza cuaternaria.

NIVELES MARINOS:

- Helveciense*... { 1. Margas y calizas con fauna marina litoral. Capas superiores ricas en nódulos calcáreos (hoya de Sardanyola-San Cugat-Rubí). — Pocos metros.

NIVELES CONTINENTALES:

- Vindoboniense superior*.... { 2. Arcillas y margas silíceas hojosas. Niveles estériles, pero de facies emersiva o «sarmática» (de Can Vulpalleres a Bella-Terra): 25 m.
3. Intercalación detrítica de aspecto deltaico: 5 m.
4. Areniscas y arcillas nodulosas coronadas por conglomerados (flexión de Sant Pau): 15 m.
5. Margas y limos palustres con fauna (yacimien- to de Sant Quirze): 5 m.
- Pontiense*.... { 6. Margas y arcillas con fauna, recubiertas por la terraza del Ripoll (subsuelo de Sabadell) (?).

* * *

El corte citado no se presenta igual en toda la zona, puesto que las variaciones laterales en la sedimentación torrencial cambian totalmente la naturaleza litológica de los sedimentos, a poco de separarnos de la serie de referencia. Hacia el Este, las arcillas y margas silíceas, de naturaleza emersiva, desaparecen a veces sustituidas por niveles de conglomerados o se hunden bajo el manto aluvial del Cuaternario. No obstante, acompañan a la formación helveciense en su extremo oriental, superponiéndose también a ella; Almera las exploró en Masrampinyo (31), en un desmonte del ferrocarril del Norte, línea de San Juan, descubriendo en su base una fauna malacológica de estuario y, en sus niveles altos, una flora de carácter subtro-

pical (*). Hacia el Oeste del corte de referencia las arcillas citadas aparecen más o menos continuas. No obstante, en otros puntos situados en iguales condiciones hipsométricas, donde debieran aparecer las arcillas hojosas y no se encuentran, aparecen los conglomerados aluviales, que debemos considerar sus equivalentes en cuanto a edad, puesto que representan las corrientes continentales de desagüe a la zona lacustre interior, aparecida tras los últimos espasmos tectónicos que determinaron el retroceso de la línea costera. Así hemos podido comprobarlo en la vertiente Sur de la «serralada», hacia La Guinardera, Can Ferran y otros puntos.

Esto nos permite considerar la edad de la zona baja del caparazón de conglomerados de la «serralada». Su sincronismo con las capas finas inmediatamente superiores a las formaciones marinas de la bahía Rubí-Sardanyola, indica que los estratos inferiores pertenecen a los niveles más bajos del Vindoboniense superior.

La masa de conglomerados situados sobre los anteriores hasta los vértices que coronan los relieves miocenos tienen, pues, como mínimo, la edad reseñada. Por el hecho de presentarse más arriba el yacimiento fosilífero de Sant Quirze, cuya edad se ha fijado como del límite superior del Vindoboniense, existe la seguridad de que la edad de los tramos de conglomerados sincrónicos a los de esta masa pelítica son todavía vindobonienses. Así pues, queda fijada una edad vindoboniense neta para la mayor parte

(*) Las especies citadas por Almera son las siguientes: *Myrica salicina* Ung., *Cinnamomum scheuchzeri* Heer., *Sapindus falcifolius* Heer., *Cassia lignitum* Ung., *Cassia fischeri* Heer., *Leguminosites proserpinae* Heer., *Leguminosites undulata* Heer., *Leguminosites stragulata* Heer., *Leguminosites ellyptica* Heer., *Colutea macrophylla* Heer.

de los tramos de estos conglomerados, por lo menos en nuestra zona oriental, pero queda en suspenso la determinación de la edad de los niveles superiores que coronan las cotas de Can Camps, Can Viver de la Serra, etc. El aspecto general es análogo al de los tramos inferiores; por otra parte, la ausencia de algún yacimiento fosilífero cercano, del que tomar referencia para la posición de sus capas, ha dificultado el hallazgo de la solución.

Al otro lado de la riera de las Arenas, el aspecto y el régimen sedimentario han variado notablemente, lo cual nos auxilia poco para dilucidar la cuestión. En corte practicado de Martorell a Viladecaballs, encontramos la siguiente serie estratigráfica: sobre el yacente Oligoceno de Castellbisbal-Martorell, de arcillas vinosas con yesos, y arcillas y conglomerados de tonos sanguinolentos, aparece la formación helveciense de lumaquelas de Can Santojini, que termina en cuña, pasando a régimen continental de arcillas rosado-pálidas. Estas mismas arcillas se superponen a los tramos marinos en Can Pasteller, y siguen con grandes abarrancamientos hasta encontrar el escudo detrítico de la «serralada», en los altos de Ullastrell (340 m.), y contienen sólo algunos gasterópodos banales (*Helix*). Por la vertiente Norte, la riera de Gayá, en profundo tajo, diseca a los conglomerados pero no llega a alcanzar las arcillas del lado Sur, aunque exhuma unas delgadas capas lignitíferas en Can Cabassa, con una flora (*Typha latissima*, etc.) que Almera fija como Ponticense. Sobre estos niveles siguen nuevamente conglomerados con intercalaciones de margas abigarradas con rica fauna de gasterópodos de agua dulce en Can Garriga (*), y arcillas verdosas o rojas que en Can

(*) Este yacimiento es inédito y contiene varias especies de *Cyclostoma*, *Helix*, *Planorbis*, etc., muy abundantes y en buen estado de

Purull, Can Trullás y La Tarumba han facilitado una importante fauna de mamíferos (*) (6, 28, 7, 10). Por encima vuelven a aparecer conglomerados formando una cresta sobre la que se asienta el pueblo de Viladecaballs, terminando aquí la serie con una brecha de falla junto al Siluriano de la Cadena Prelitoral. La serie reseñada puede, pues, distribuirse verticalmente de la siguiente manera (véase fig. 4):

VINDOBONIENSE.—Arcillas pálidas de la vertiente Sur de la «serralada».
Espesor, unos 200 metros.

PONTIENSE INFERIOR.—Conglomerados de Ullastrell, lignitos de Can Cabassa, arcillas y margas de Can Purull, etc. Conglomerados de Viladecaballs. Espesor, unos 100 metros.

Como puede verse no hay aquí problema estratigráfico, puesto que en este punto aparece relativamente clara la sucesión, tomando como básicas del Ponticense las hiladas con lignito de Can Cabassa. Entre este punto y la riera de las Arenas, Llopis Lladó ha practicado varios cortes y ha descrito la serie sedimentaria y la perpetuación del régimen torrencial (27); la carencia aquí de yacimientos vindobonienses también imposibilita el deslindamiento de los dos pisos. Poco demostrativo es también el análisis petrográfico de los conglomerados en toda la zona. Llopis Lladó (27) ha encontrado, en la parte alta de la serie, predominancia de elementos paleozoicos (cerca de Can Gonteres), o de

conservación. En la colección del Museo Martorell de Barcelona, existen ejemplares de *Helix* y *Cyclostoma*, donados por Arturo Bofill, pero es de creer que pertenecen a un nivel inferior, pues la etiqueta indica que están debajo de los lignitos.

(*) En realidad la asociación faunística hallada atestigua una edad intermedia entre el Vindoboniense y el Ponticense; hemos descrito dichos niveles como meóticos, según se ha citado anteriormente (10). (El Meótico lo consideramos, hasta cierto punto, como un Ponticense basal.)

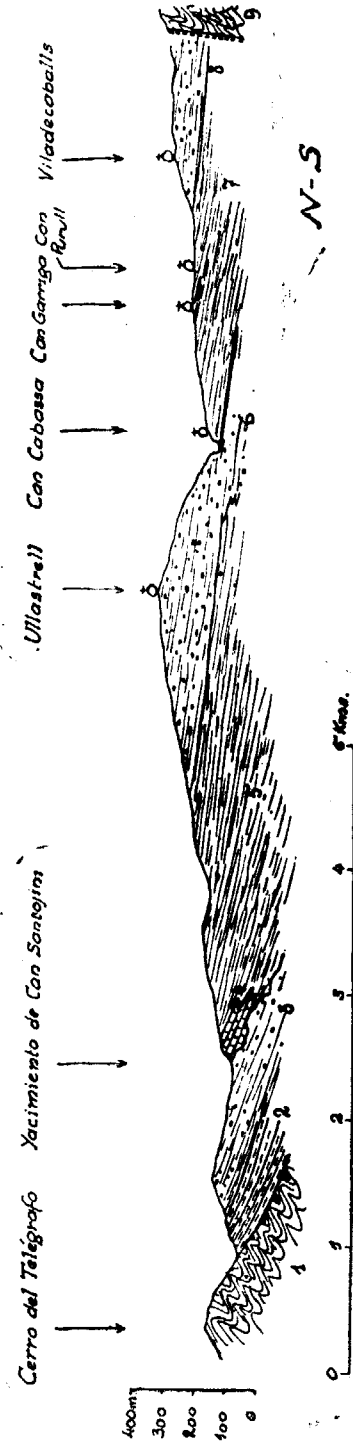


Fig. 4. — La depresión del Vallés, en el extremo occidental.

Siluriano: 1. Pizarras del Congosto de Martorell.—Oligoceno: 2. Arcillas vinosas con yesos. 3. Arcillas y conglomerados rojizos.—Mioceno marino: 4. Banco de lumaquelas helvecienses. — Mioceno continental: 5. Arcillas rosado-pálidas vindobonienses. 6. Conglomerados de la Sierra Central. 7. Arcillas, lignitos y margas fosilíferas. 8. Conglomerados de Viladecaballs.—Siluriano: 9. Pizarras de la Cordillera Preitoral.

cantos mesozoicos (cerca del yacimiento de la Tarumba), o nummulíticos (Creu dels Batlles), mientras que en sus términos bajos sólo halla mayoría de elementos paleozoicos. Nosotros también hemos topado con datos no diferenciales en la zona oriental. En las faldas de la vertiente Norte de Can Viver, y cerca de Bella-Terra (zona baja), hemos hallado predominancia de elementos paleozoicos, y sobre Can Viver de la Serra y las lomas del Este de Les Fonts (niveles superiores), un máximo de calizas secundarias y eocenas; en otros puntos las predominancias están invertidas. El análisis litológico da, pues, muy poca luz para diferenciar los niveles en nuestra zona oriental y poderlos fechar con cierta exactitud.

El nuevo yacimiento fosilífero descubierto en Can Ponsic viene a darnos la clave del asunto.

El yacimiento

El yacimiento de Can Ponsic se halla situado en las faldas de la vertiente Norte de la «serralada», bajo Can Viver y en los alrededores de la riera de Sant Quirze, cerca de un pequeño torrente que afluye a ella y un viñedo vecino. El yacimiento está constituido por arcillas pálidas, ricas en concreciones calcáreas, con intercalaciones de arcillas y margas de tonos verdosos. El buzamiento es muy suave y está orientado hacia el NE., enterrándose estas capas bajo la pequeña terraza cuaternaria de la masía de Can Ponsic, y reapareciendo, algo más calcáreas, bajo el cementerio del pueblo de Sant Quirze.

La fauna hallada, aunque no presenta la espectacularidad de la de otros yacimientos de la cuenca, es suficien-

temente típica para considerarla análoga a las más representativas de los yacimientos de Viladecaballs, con fauna de *Hipparion*, tal como se indicará más adelante. Estos niveles son, por tanto, supravindobonienses, y en consecuencia más altos respecto a los del inmediato yacimiento de la trinchera del ferrocarril, repetidamente citado. Sin embargo, dan la impresión somera de ser ambos sincrónicos, considerando solamente el punto de vista topográfico, pues están situados en las isohipsas 160 (trinchera) y 186 (Can Ponsic) y a unos dos kilómetros de distancia. Debido al buzamiento de ambos ha podido calcularse, sin embargo, que el paquete estratigráfico contenido entre los dos horizontes tiene un espesor de unos 30 metros. Esta cifra quizá sea de una aproximación muy relativa, puesto que las micro y macrofallas, tan frecuentes en esta zona (y difíciles de observar por las abundantes variaciones de facies, si no es en trincheras recién abiertas), pueden enmascarar considerablemente su verdadero valor. Los yacimientos con fauna de *Hipparion* más próximos al Vindoboniense de Sant Quirze eran, hasta ahora, Can Barba, subsuelo de Sabadell y Can Llobateres, todos ellos correspondiendo a tramos algo más elevados que el yacimiento que nos ocupa.

Los conglomerados que coronan los relieves de la «serralada» central se corresponden lateralmente con los niveles de Can Ponsic, por cambio de facies muy claro, como puede observarse siguiendo las márgenes del torrente que pasa por el Este del yacimiento. El corte de la figura 5 indica la relación de las capas fosilíferas de Can Ponsic con los niveles de Can Viver y Can Camps, y su posición, netamente inferior a los estratos de Can Barba, conocidos por el hallazgo de *Aceratherium incisivum*, desde la época de Almera, como pontienses.

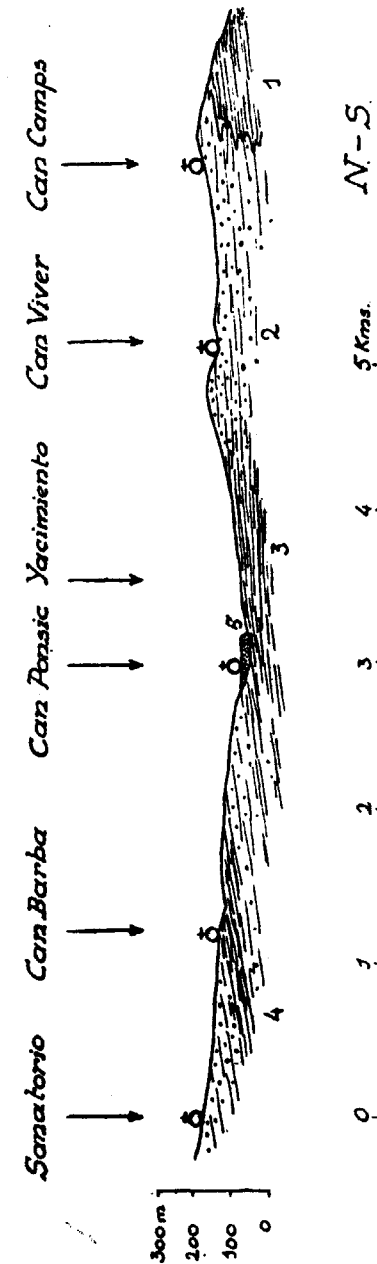


Fig. 5.—Situación estratigráfica del yacimiento de Can Ponsic.

1. Arcillas hojosas vindoboniense-pontienses.—2. Conglomerados de la «serralada».—3. Arcillas y margas fosilíferas del nuevo yacimiento.—4. Conglomerados y arcillas superiores.—5. Terraza cuaternaria.

El hallazgo del nuevo yacimiento en la primavera del presente año (1946), por el primero de los firmantes, ha constituido un documento interesante para dilucidar la cuestión de los relieves miocenos del Vallés occidental. Todos los tramos superiores de la «serralada», desde Olesa a Can Camps, deben de ser, pues, pontienses, restando sólo los niveles inferiores de edad vindoboniense, visibles sólo al exterior por el lado Sur de los altozanos. Solamente el yacimiento de la vía férrea representa el único afloramiento vindoboniense al Norte de la Sierra. La situación hipsométrica del Mas d'En Ribes (130 m.) y Rubí (120 m.), niveles de base locales donde afluyen los torrentes de la subdepresión Tarrasa-Viladecaballs, en las líneas de drenaje de la riera de Gayá y de la de las Arenes, respectivamente, difiere bastante de la altura en que se halla Sardanyola (60 m.), donde se recogen las aguas de la riera de Sant Quirze (que aquí recibe el nombre de Riu Sec); quizá sea esta la causa que ha permitido poner al descubierto los niveles vindobonienses en su cuenca hidrográfica.

La fauna

Desde hace años venimos explorando, con nuestro colaborador Sr. Villalta Comella, los alrededores del yacimiento Vindoboniense de Sant Quirze (trinchera del Contratista), a la búsqueda de nuevas localidades fosilíferas. Nuestra atención se ha dirigido muchas veces a la minuciosa observación, aguas arriba de la riera de Sant Quirze, de los niveles arcillo-margosos que, aparte de la localidad vindoboniense citada, afloran en diversos lugares de esta zona. En distintas ocasiones, partiendo del cruce del camino de Can Canals con la vía férrea de los Ferrocarriles de Cataluña,

hemos explorado los mantos pelíticos que aparecen por erosión en la margen derecha del citado torrente, recogiendo acá y acullá algunos escasos restos y poco característicos (*Testudo* sp., *Helix* sp.), intentando hallar los límites del Vindoboniense. Por fin, y como ya se ha dicho más arriba, en la primavera última se logró localizar un nuevo yacimiento en las cercanías de la casa de campo de Can Ponsic, una media hora escasa al NO. del pueblo de Sant Quirze, yacimiento que viene a aumentar el considerable número de localidades fosilíferas de la comarca vallesense.

A pesar de que las exploraciones que hemos podido realizar en este nuevo afloramiento fosilífero son todavía escasas, el número de restos recogidos es ya considerable. Su proximidad al ya clásico yacimiento de la trinchera del ferrocarril nos hizo creer, en un principio, que se trataría de las mismas capas del Vindoboniense superior. El hallazgo del *Hipparion* nos demostró inmediatamente encontrarnos en niveles más altos.

Los restos fósiles se hallan, en su mayoría, dispersos por la superficie de un viñado; otros han podido recogerse en unos pequeños abarrancamientos, en donde aparecen al descubierto por la acción de las aguas de arrollada.

Los materiales, guardados en la colección paleomastológica del Museo de Sabadell, son detallados a continuación en la lista de las especies que hasta el presente hemos podido reconocer:

Testudo catalaunica Bataller.—Varias placas marginales del espaldar. La especie se conocía solamente del yacimiento de la trinchera en Sant Quirze, que constituye, pues, la localidad-tipo.

Testudo nova sp. Villalta, in-litt.—Algunas placas aisladas del peto y del espaldar. La localidad típica de esta

especie, en vías de descripción, es la del subsuelo de Sabadell.

Testudo bolivari H. Pacheco.—Algunas placas del peto. En nuestra cuenca, la especie ha sido hallada en los niveles altos del yacimiento de Hostalets de Pierola (Penedés).

Monosaulax minutus Meyer.—Un M_3 superior izquierdo. Especie prolijamente hallada en el Vindoboniense de Sant Quirze.

Machairodus sp.—Un metacarpiano y fragmentos de otros y una falange proximal anterior.

Aceratherium incisivum Kaup.—Una serie superior izquierda con P_2 , P_3 , P_4 y M_1 . Una serie superior izquierda con M_1 , M_2 (fragmento) y M_3 . Un P_2 inferior. Una extremidad distal de un radio derecho. Un astrágalo izquierdo. Una extremidad proximal de un Mc IV y otra de un Mc III. Una extremidad distal de un Mc II, todos izquierdos. Una falange primera media. Otra primera lateral. Fragmentos de costillas; una vértebra dorsal. De nuestra cuenca, la presente especie se conoce también de las localidades de Can Barba, Sant Miquel del Taudell y Piera.

Dicerorhinus schleiermacheri Kaup.—Un molar inferior y fragmentos de otros. La especie existe también en el subsuelo de Sabadell y en La Tarumba.

Hipparion gracile Kaup.—Cinco molares superiores, tres inferiores, dos primeras falanges medias, una extremidad distal de un metacarpiano o metatarsiano central y otra de un metacarpiano o metatarsiano lateral. Esta especie es, desde luego, la más ubicua de los yacimientos supravindobonienses de la cuenca.

Taucanamo (= *Choerotherium*) sp.—Fragmento de mandíbula izquierda con el M_3 . La misma forma procede, inédita, del yacimiento de La Tarumba.

Listriodóntido (género nuevo ?).—Un P_2 superior con fragmento del maxilar. Atribuido al mismo suido inédito, hallado en Can Purull.

Micromeryx flourensianus Lartet.—Una falange distal. Especie común en los yacimientos vindobonienses y supravindobonienses del Vallés-Penedés.

Tragocerus sp.—Un fragmento de mandíbula derecha con el M_1 . Un P_4 inferior derecho. Un fragmento de molar superior.

Capreolus sp.—Un fragmento de asta. Dos extremidades distales de metacarpianos o metatarsianos. Una primera falange y un fragmento de una extremidad distal de un húmero.

Dorcatherium jourdani Filhol.—Un M_3 superior izquierdo. Una extremidad proximal de un metatarsiano y una extremidad distal de una tibia. No ha sido citada de nuestra cuenca y es la segunda localidad española de la misma (la primera es la de Los Valles de Fuentidueña, en Segovia).

Mastodon sp.—Fragmentos de huesos indeterminados.

Consideraciones acerca de la fauna de Can Ponsic

Adrede hemos dejado de lado la descripción detallada de los materiales descubiertos en el nuevo yacimiento, y que el primero de nosotros piensa llevar a cabo con el señor Villalta Comella, en su progresivo plan de sistematización de los vertebrados fósiles del Vallés-Penedés.

Nos interesa aquí, en cambio, hacer referencia de la

edad de las formaciones estudiadas de acuerdo con el examen cuidadoso de la fauna fósil descubierta. Como ya hemos dicho en un trabajo anterior (10), pretendimos demostrar recientemente la progresiva complejidad que muestran en nuestro Terciario continental los «niveles con *Hipparion*» del Vallés-Penedés, hasta hace muy poco atribuidos en bloque al llamado Pontense en sentido lato. Esta complejidad nos ha venido a ser sugerida por el sucesivo escalonamiento de las faunas paleomastológicas, las cuales nos han demostrado, poco a poco, la existencia de diversos niveles superpuestos, y que se pueden precisar con mayor detalle a medida que aumentan los hallazgos en los numerosos yacimientos de la zona.

De acuerdo con los puntos de vista de los estratígrafos y paleontólogos rusos, en lo que se refiere a las formaciones llamadas genéricamente del Mar Negro, creemos que es posible distinguir aquí tres niveles en la llamada «fauna del *Hipparion*»: Meótico o de transición del Vindoboniense superior al complejo Pontense, Pontense inferior y Pontense superior o nivel de Pikermi (Grecia). La riqueza progresiva de las faunas de vertebrados fósiles de la región de Viladecaballs (Sant Miquel del Taudell-La Tarumba-Can Pítrull-Can Trullás) nos permitió señalar como meóticas las capas de esta zona (10). De acuerdo con lo que nos dice la estratigrafía parece evidente que los niveles de Sabadell (subsuelo), Can Llobateres, Can Ponsic, etc., deberían ser inferiores a los de Sant Miquel-Viladecaballs, pero dado el caso de la posible existencia, en el paquete estratigráfico de la región vallesense, de dislocaciones postpontenses más o menos importantes, enmascaradas por el intenso laboreo de la comarca y por la falta de cortes profundos, esperábamos poder corroborarlo con argumentos paleontológicos cuando las asociaciones de faunas descubiertas fue-

sen lo suficientemente demostrativas. Hasta hoy no era posible hacerlo con referencia al yacimiento del subsuelo de Sabadell y de algunas otras localidades más pobres, pues el conjunto de las formas era todavía poco numeroso.

El yacimiento de Can Ponsic, en cambio, nos permite ya el análisis de una asociación faunística, bastante importante para poder obtener con él consecuencias de orden cronológico.

Ya hemos dicho que *Hipparion gracile* es un inmigrante que se adelanta mucho a la oleada faunística correspondiente al Pontense superior o nivel de Pikermi, producida por la regresión mediterránea en los albores del Plioceno (9). En Can Ponsic, al lado de algunas formas banales que alcanzan todo el complejo de los «niveles de *Hipparion*», encontramos otras que denotan un arcaísmo evidente. Así, por ejemplo, el *Aceratherium*, que se halla representado, según ha podido verse más arriba, por numerosos restos pertenecientes a distintos individuos (valorando, pues, la amplitud de variación), es de una talla inferior a la del tipo de Kaup. Esta talla se muestra como intermedia entre la de los *Aceratherium* del Mioceno inferior y medio (*Aceratherium platyodon* Mermier, del Burdigaliense superior de Royans, *Aceratherium* sp., del Vindoboniense de Pont-Levoy Thenay, etc.) y la de la especie genotípica del Pontense superior. Asimismo debemos hacer hincapié en el hallazgo de un *Taucanamo* (= *Choerotherium*) afín al *T. sansaniensis*, género típico, según los abundantes datos actuales, del Vindoboniense, con sus dos especies *T. sansaniensis*, ya citada, y *T. pigmaeus* Depéret; el suido de Can Ponsic (por lo demás hallado también muy recientemente en Viladecaballs) es de una talla que entra dentro de la variabilidad individual de la primera de las mencionadas especies, y es posible aún que sea la misma, a pesar de que el

material actual no pueda permitir una caracterización específica absolutamente precisa. De otro lado, *Micromeryx flourensianus* viene a corroborar este carácter arcaico de la fauna de mamíferos fósiles del nuevo yacimiento.

Muy significativo es, por demás, el hallazgo de la especie de castor *Monosaulax minutus* Meyer, característica hasta hoy del Vindoboniense europeo (Elgg, Anwill, Statzling, Goriach, Sansan, etc.) y no hallada, por tanto, en el Pontiense. Los caracteres de la pieza hallada, un M_3 superior, son exactos a los de nuestras piezas del Vindoboniense de Sant Quirze y absolutamente propios de la especie citada (40, 41).

Otras especies, en cambio, no pueden darnos una orientación muy precisa: coexistiendo con el *Testudo bolivari*, que se ha comprobado ser común a los niveles vindobonenses y pontienses, junto con su afín *T. richardi* Bergounioux (34), en distintos yacimientos españoles, hallamos aquí restos muy característicos de la nueva especie *Testudo* del subsuelo de Sabadell, que el Sr. Villalta Comella tiene en proyecto de descripción, pero que en realidad no nos puede ilustrar desde el punto de vista cronológico, dado que no conocemos *a priori* la edad precisa de aquellos niveles y que no ha sido hallada en otras localidades bien fechadas. En cambio, hemos hallado también restos indubitables de *Testudo catalaunica* Bataller, hasta ahora propia del yacimiento vindoboniense de la trinchera del ferrocarril, en Sant Quirze. También esta forma la hemos descubierto recientemente en Viladecaballs, pero ignoramos, por falta de elementos de juicio, si llega o no hasta los niveles del Pontiense alto.

Atribuimos una pieza de suido de Can Ponsic al Listriodóntido hallado por nosotros en Viladecaballs (inérito), y que consideramos, de momento, como un género nuevo.

Su estudio lo estamos realizando en colaboración con el Dr. Johannes Hürzeler, del Museo de Basilea; pero por ser propio sólo de los niveles que estamos discutiendo, no puede constituir un dato para la cronología.

Algunas de las citas restantes, tales como *Tragocerus* sp., *Dorcatherium jourdani* y *Capreolus* sp., parecen evidenciar un carácter más modernizado, aunque en el caso de la primera de ellas hay que indicar que se han citado algunos antilópidos atribuidos a *Tragocerus* (*T. latifrons* Sickenberg, de Austria, y *T. leskewiski* Borissiak, de Sebastopol) (35, 36), de niveles infrapontienses.

En resumen, pues, la fauna del nuevo yacimiento de Can Ponsic apunta un carácter de primitividad que, añadido al escaso desnivel estratigráfico que le separa del yacimiento del Vindoboniense superior de Sant Quirze, nos induce a considerarla como de los niveles de transición del Vindoboniense al Pontiense, es decir, de aquéllos que hemos denominado meóticos.

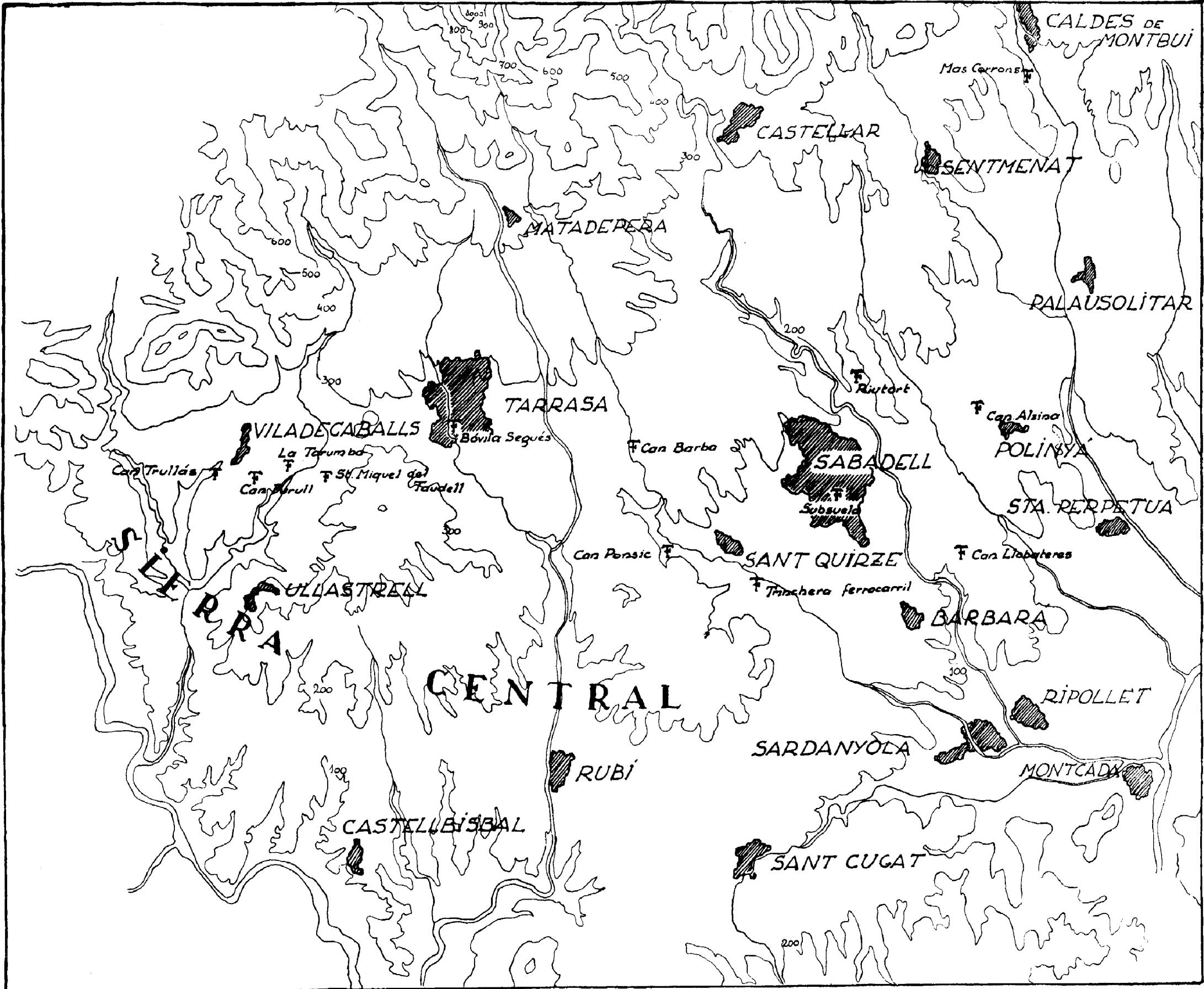
Todo lo considerado en estas notas paleontológicas—unido a nuestras afirmaciones anteriores sobre los yacimientos de Viladecaballs, así como el reciente hallazgo en Can Llobateres (28) de una especie tan típica del Vindoboniense como el insectívoro *Plesiodimylus chantrei* Gaillard, hallado además en nuestro Vindoboniense (37, 38), y la ausencia en el Vallés de las formas más típicas del nivel de Pikermi, como los *Sus erymanthius* y los grandes rebaños de antilópidos y giráfidos, es decir, la biocenosis típica de la súbita inmigración subsiguiente a la regresión mediterránea del Pontiense superior—nos hacen suponer que en la zona vallesense de la depresión no existen los estratos altos del Pontiense, y que todos ellos pueden ser considerados como meóticos, o todo lo más, en cuanto a los más altos, como del Pontiense inferior; al revés de lo que

sucede en el Penedés, en donde las ya célebres brechas osíferas de Piera (7), sincrónicas de Pikermi, anuncian la existencia del Pontiense más alto.

Quizá se nos objete que la presencia o ausencia de determinadas formas en unos o en otros yacimientos, pueda ser atribuída a pura cuestión de facies, como se ha demostrado en el caso de los clásicos yacimientos de Sansan y de La Grive Saint-Alban, hoy en día considerados como sincrónicos a pesar de diferencias importantes en el «stock» de sus faunas fósiles. Los yacimientos del Vallés y del Penedés son muy cercanos entre sí, y no creemos que puedan existir factores paleogeográficos suficientemente importantes como para explicar las diferencias señaladas, aparte de algunos casos muy concretos, ya señalados, como la de los Castores (9). De otro lado, es evidente que las faunas supravindobonienses del Vallés contienen siempre elementos arcaicos, paralelamente a lo que ocurre con los niveles altos del yacimiento de Hostalets de Pierola, en el Penedés, atribuídos también por nosotros al Meótico (9), y que son indiscutiblemente muy inferiores, desde el punto de vista estratigráfico, a las brechas de Piera, del Pontiense más superior (*).

Museo de Sabadell, noviembre de 1946.

(*) Al corregir pruebas del presente trabajo (mayo de 1947) el yacimiento de Can Ponsic ha proporcionado nuevos y notables restos que, además de aumentar el número de piezas de las especies citadas aquí (por ejemplo la dentición casi completa del *Aceratherium incisivum*), han engrosado la lista faunística referida a los mamíferos, como *Prolagus oeningensis* Meyer; *Cricetodon* cfr. *gregarius* Schaub. y *Cricetodon sansaniensis-decedens*, algunos de los cuales, según decimos en un reciente trabajo, vienen a corroborar nuestras afirmaciones anteriores. También se ha hallado una interesante fauna de gasterópodos, que ha sido últimamente estudiada por el Sr. Truyols.



MAPA TOPOGRÁFICO, A ESCALA 1 : 100.000, DE LA REGIÓN OCCIDENTAL DEL VALLÉS, EN DONDE SE INDICA LA LOCALIZACIÓN DE LOS YACIMIENTOS FOSILÍFEROS

BIBLIOGRAFIA

1. ALMBRA (J.) y BOFILL (A.): «Descubrimiento de grandes mamíferos fósiles en Cataluña». — *Crónica Científica*. Tomo X. Barcelona, 1887.
2. ALMBRA (J.): «Sobre la serie de mamíferos fósiles descubiertos en Cataluña». — *Mem. R. Acad. Ciencias y Art.* Tomo I. Barcelona, 1898.
3. BATALLER (J. R.): «Mamífers fòssils de Catalunya». — *Treb. Inst. Cat. Hist. Nat.* Barcelona, 1918.
4. BATALLER (J. R.): «Contribució a l'estudi de nous mamífers fòssils de Catalunya». — *Arxius de l'Inst. de Cienc.* Any 12. Núm. 1. Barcelona, 1924.
5. VILLALTA COMELLA (J. F.) y CRUSAFONT PAIRÓ (M.): «Primera nota sobre vertebrats fòssils miocènics del Vallès». — *But. Inst. Cat. Hist. Nat.* Vol. 33, núm. 4-5. Barcelona, 1933.
6. VILLALTA COMELLA (J. F.) y CRUSAFONT PAIRÓ (M.): «Los vertebrados fósiles del Mioceno continental del Vallés-Panadés». — *Publ. del Museo de Sabadell.* Sabadell, 1941.
7. VILLALTA COMELLA (J. F.) y CRUSAFONT PAIRÓ (M.): «Consideraciones sobre las formaciones pontien-

- ses de la cuenca del Vallés-Panadés».—*Las Ciencias*. Año 8, núm. 3. Madrid, 1943.
8. BATALLER (J. R.): «Los yacimientos de vertebrados fósiles miocenos de Cataluña».—*Compte-rendus. XIV Cong. Geol. Intern. de 1926*. Madrid, 1928.
 9. VILLALTA COMELLA (J. F.) y CRUSAFONT PAIRÓ (M.): «La Paleomastología española en los últimos años».—*Arbor*. Tomo III. Madrid, 1945.
 10. CRUSAFONT PAIRÓ (M.) y VILLALTA COMELLA (J. F.): «Sobre la caracterización de niveles meóticos en el Vallés».—*Anuario del Mus. de Sab.* Núm. 3 (en prensa). Sabadell, 1947.
 11. ELÍAS (J.): «La serrallada central del Vallès, és tortoniana o sarmatiana?».—*But. Club Pirenenc*. Any II. Terrasa, 1924.
 12. ELÍAS (J.): «Epoca de la aparición de la Cordillera Central del Vallés».—Ext. de «*Ibérica*». Tarrasa, 1927.
 13. ELÍAS (J.): «Los espolones de la Cordillera Central del Vallés».—*But. Inst. Cat. Hist. Nat.* 2.^a serie, volumen X. Barcelona, 1930.
 14. ELÍAS (J.): «Tectónica de la Serrallada Central».—*But. Agrup. Exc. de Granollers*. Granollers, 1934.
 15. LLOPIS LLADÓ (N.): «Tectomorfolología del macizo del Tibidabo y valle inferior del Llobregat».—*Estudios Geográficos*. Año III, núm. 7. Madrid, 1942.
 16. VEZIAN (M.): «Du terrain post-pyrénéen de Barcelone, et ses rapports avec les formations correspondantes du bassin de la Méditerranée».—Thèse. Paris, 1856.
 17. MAESTRE (A.): «Descripción geognóstica del distrito de Aragón y Cataluña».—*Anales de Minas*. Madrid, 1845.

18. CAREZ (L.): «Etudes sur les terrains crétacés et tertiaires du Nord de l'Espagne».—Thèse. Paris, año 1881.
19. ALMERA (J.): «Descubrimiento de tres floras terciarias de nuestros alrededores».—*Crónica Científica*. Tomo XIV, núm. 339. Barcelona, 1891.
20. ALMERA (J.): «Nota sobre la presencia del *Hippopotamus major* y de otros mamíferos fósiles en Tarrasa».—*Bol. R. Acad. de Cienc. y Art.* 3.^a época, tomo I. Barcelona, 1893.
21. PALET Y BARBA (D.): «Estudio del terreno pliocénico de Tarrasa y de sus relaciones con las formaciones contiguas».—*R. Acad. de Cienc. y Art.* Barcelona, 1894.
22. ALMERA (J.): «Descripción de los depósitos pliocénicos de la cuenca del Bajo Llobregat y llano de Barcelona».—*Memoria Real Academia de Ciencias y Artes*. 3.^a época, t. III, núm. 56. Barcelona, 1894.
23. ROYO Y GÓMEZ (J.): «El Mioceno continental Ibérico y su fauna malacológica».—*Com. de Inv. Paleont. y Prehist.* Mem. núm. 30. Madrid, 1922.
24. «Memoria explicativa de la Hoja número 420 (San Baudilio), del Mapa Geológico de España 1:50.000».—*Inst. Geol. y Min. de España*. Madrid, 1930.
25. DARDER Y PERICÁS (B.): «Estudio geológico de la comarca de Sabadell».—*Mem. R. Soc. Esp. de Hist. Nat.* Madrid, 1930.
26. VILLALTA COMELLA (J. F.) y CRUSAFONT PAIRÓ (M.): «Notas para la estratigrafía de la cuenca del Vallés-Panadés».—*Las Ciencias*. Año IX, número 1. Madrid, 1944.
27. LLOPIS LLADÓ (N.): «Morfoestructura de los relieves de

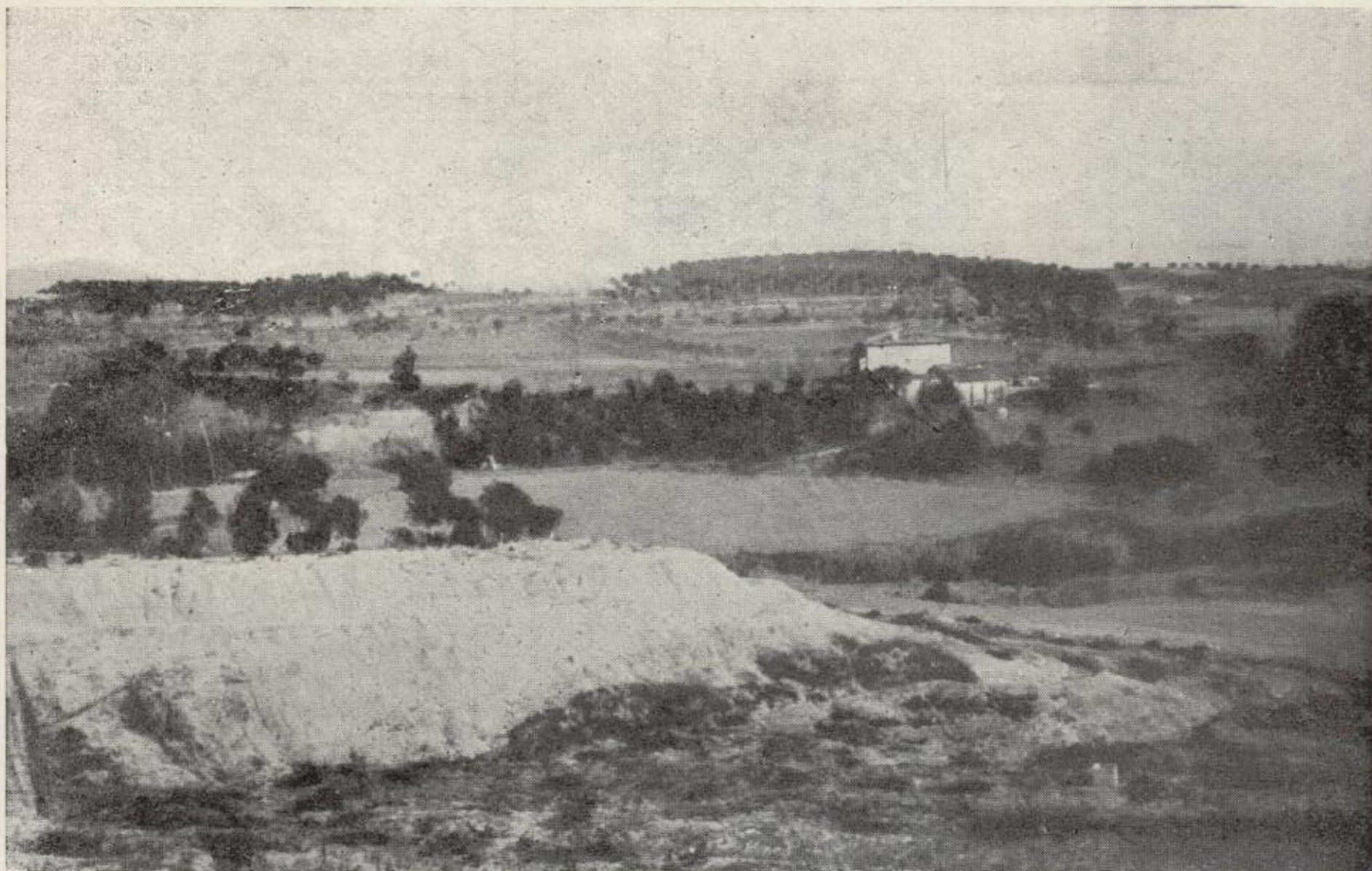
- pudingas de Sant Llorenç del Munt-Sierra de l'Obach (Barcelona)». — *Estudios Geográficos*. Año V, núm. 17. Madrid, 1944.
28. VILLALTA COMELLA (J. F.) y CRUSAFONT PAIRÓ (M.): «Tres nuevas localidades de mamíferos del Poniense del Vallés-Panadés». — *Bol. R. Soc. Esp. de Hist. Nat.* Tomo XLI. Madrid, 1943.
29. ALMERA (J.): «Mapa topográfico y geológico de la Provincia de Barcelona. Hoja primera o de los contornos de la Capital. Escala 1:40.000». — *Disputación Prov. de Barcelona*. Barcelona, año 1891. (1.ª edición.)
30. ALMERA (J.): «Compte-rendu de l'excursion du samedi 1 d'Octobre à Montcada et Sardañola». — *Bulletin Soc. Géol. de France*. Reunion extraordinaire a Barcelone en 1898. Paris, 1899.
31. ALMERA (J.): «Memoria explicativa de la Hoja n.º 421 (Barcelona), del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000». — *Instituto Geol. y Min. de Esp.* Madrid, 1928.
32. TRUYOLS SANTONJA (J.): «Sobre la Paleontología del Mioceno marino de la depresión del Vallés». — *Anuario del Mus. de Sabadell*. Núm. 3 (en prensa). Sabadell, 1947.
33. SOLÉ SABARÍS (L.): «Presencia del *Dinotherium giganteum* Kaup, a Caldes de Montbui». — *Butlletí Inst. Cat. Hist. Nat.* Vol. XXXVI. Barcelona, 1936.
34. BERGOUNIOUX (F. M.): «Cheloniens fossiles d'Espagne». — *Bull. de la Soc. d'Hist. Nat. de Toulouse*. Vol. LXXII, 3.ª fasc. Toulouse, 1938.
35. SICKEMBERG (O.): «Eiene neue Antilope und andere Säugetierreste aus dem Obermiozän Niederösterreichs». — *Paleobiológica*. II. Wien, 1929.

36. BORISSIAK (A.): «Mamifères fossiles de Sebastopol». — *Mem. Com. Geol. Saint Petersburg*. N. S. livr. 87. San Petersburgo, 1914.
37. VILLALTA COMELLA (J. F.) y CRUSAFONT PAIRÓ (M.): «Los vertebrados del Mioceno continental de la cuenca Vallés-Panadés. I, Insectívoros, II, Carnívoros». — *Bol. del Inst. Geol. y Min. de España*. Tomo LVI, 3.ª ser. Madrid, 1943.
38. VILLALTA COMELLA (J. F.) y CRUSAFONT PAIRÓ (M.): «Nuevos Insectívoros del Mioceno continental del Vallés Panadés». — *Notas y Com. del Inst. Geol. y Min. de Esp.* Núm. 12. Madrid, 1944.
39. PILGRIM (G. E.): «The Lower limit of the Pleistocene in Europe and Asia». — *Geological Magazine*. Volumen LXXXI, núm. 1. Londres, 1944.
40. BATALLER (J. R.): «Els ratadors fòssils de Catalunya». — Barcelona, 1938.
41. BATALLER, VILLALTA y CRUSAFONT: «Los Castores fósiles de España». — *Bol. del Inst. Geol. y Min. de España*. (En prensa).

EXPLICACIÓN LÁMINA IV

- Fig. 1.—*Aceratherium incisivum* Kaup.— P_2 M_1 superiores izquierdos por la cara oclusal, tamaño natural; Col. Museo de Sabadell. Meótico. Can Ponsic (Sant Quirze).
- Fig. 2.—*Monosaulax minutus* Meyer.— M_3 superior izquierdo por la cara oclusal, tamaño natural; Col. Museo de Sabadell. Meótico. Can Ponsic (Sant Quirze).—Fig. 2 bis, el mismo, aumentado a 2,5/1.
- Fig. 3.—*Aceratherium incisivum* Kaup.— P_2 inferior izquierdo por la cara oclusal, tamaño natural; Col. Museo de Sabadell. Meótico. Can Ponsic (Sant Quirze).
- Fig. 4.—*Tragocerus* sp.—Fragmento de mandíbula derecha con el M_1 , por la cara externa, tamaño natural; Col. Museo de Sabadell. Meótico. Can Ponsic (Sant Quirze).
- Fig. 5.—*Capreolus* sp.—Primera falange, tamaño natural; Col. Museo de Sabadell. Meótico. Can Ponsic (Sant Quirze).
- Fig. 6.—*Dorcatherium jourdani* Filhol.—Extremidad distal de tibia, tamaño natural; Col. Museo de Sabadell. Meótico. Can Ponsic (Sant Quirze).
- Fig. 7.—*Capreolus* sp.—Extremidad distal de un metacarpiano o metatarsiano, tamaño natural; Col. Museo de Sabadell. Meótico. Can Ponsic (Sant Quirze).
- Fig. 8.—*Hipparion gracile* Kaup.—Falange media central, tamaño natural; Col. Museo de Sabadell, Meótico. Can Ponsic (Sant Quirze).

Fotos Andrés



Afloramientos de arcillas fosilíferas en el nuevo yacimiento. Al fondo la casa de campo de Can Ponsic, sobre la terraza cuaternaria



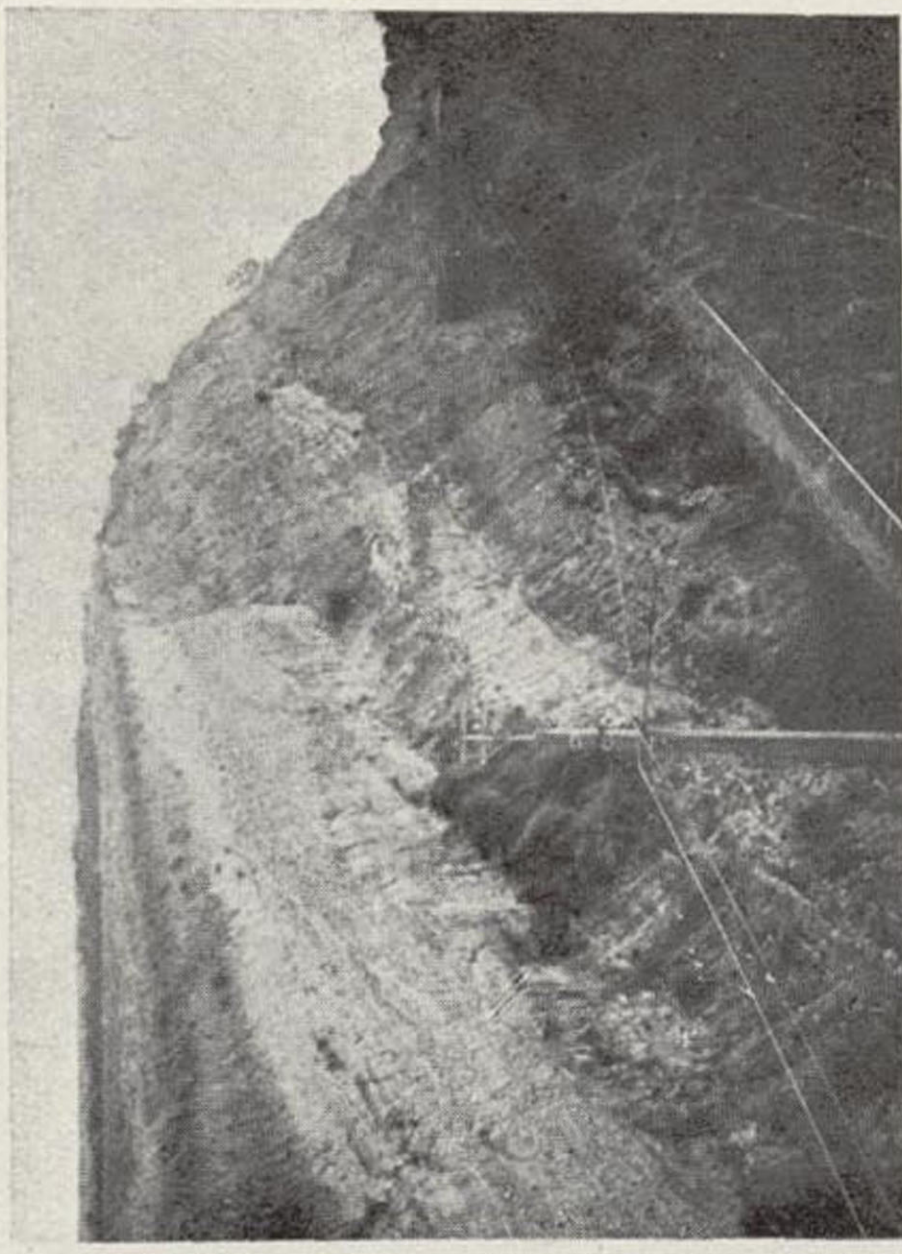
Vista de conjunto del nuevo yacimiento de Can Ponsic, cerca de Sant Quirze.

Fots. J. Truyols.





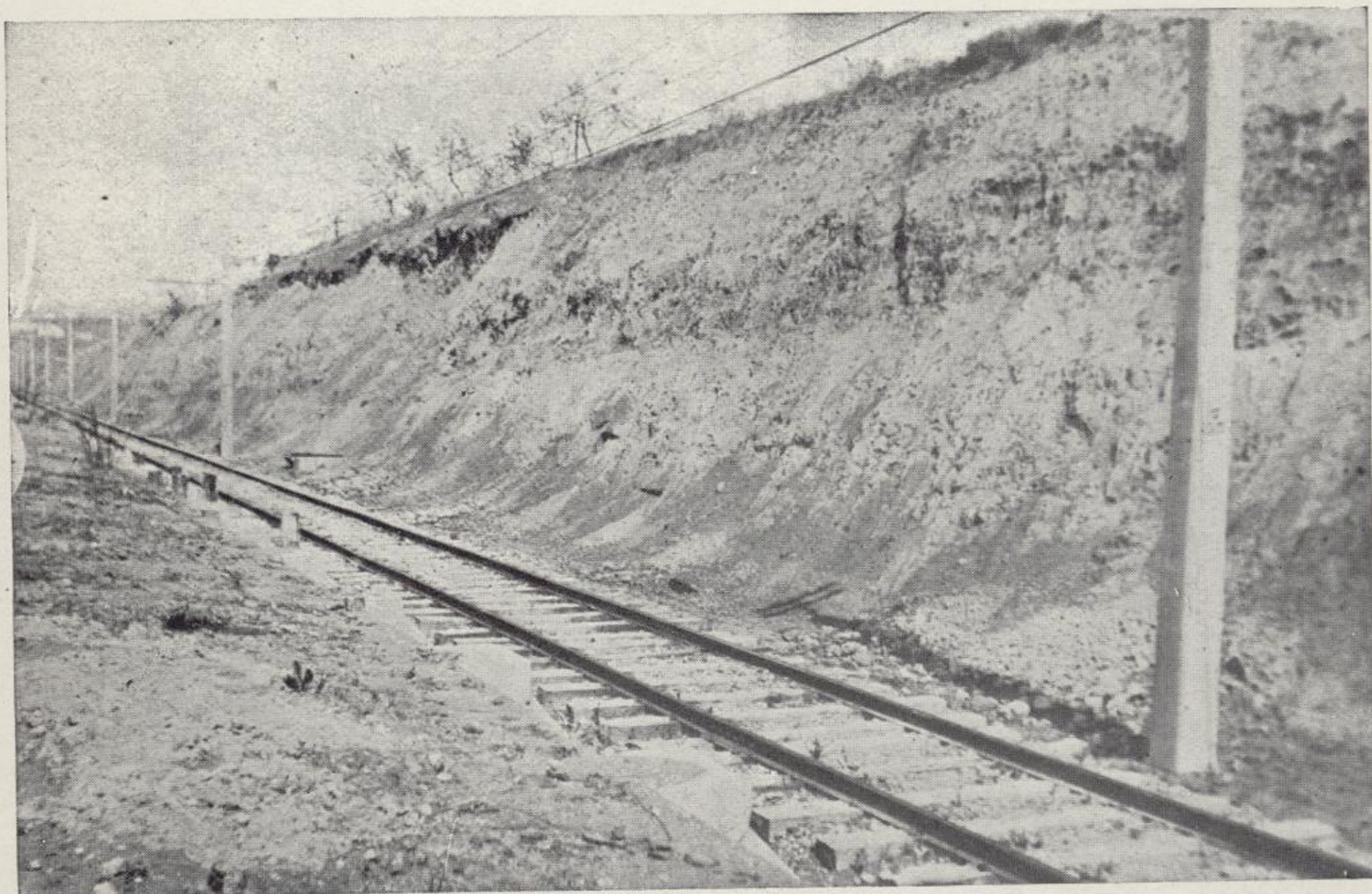
Fallas en el material detrítico del Vindoboniense, cerca de la ermita de Sant Pau.



La flexión de la trinchera de Sant Pau.

Fots. J. Truyols.

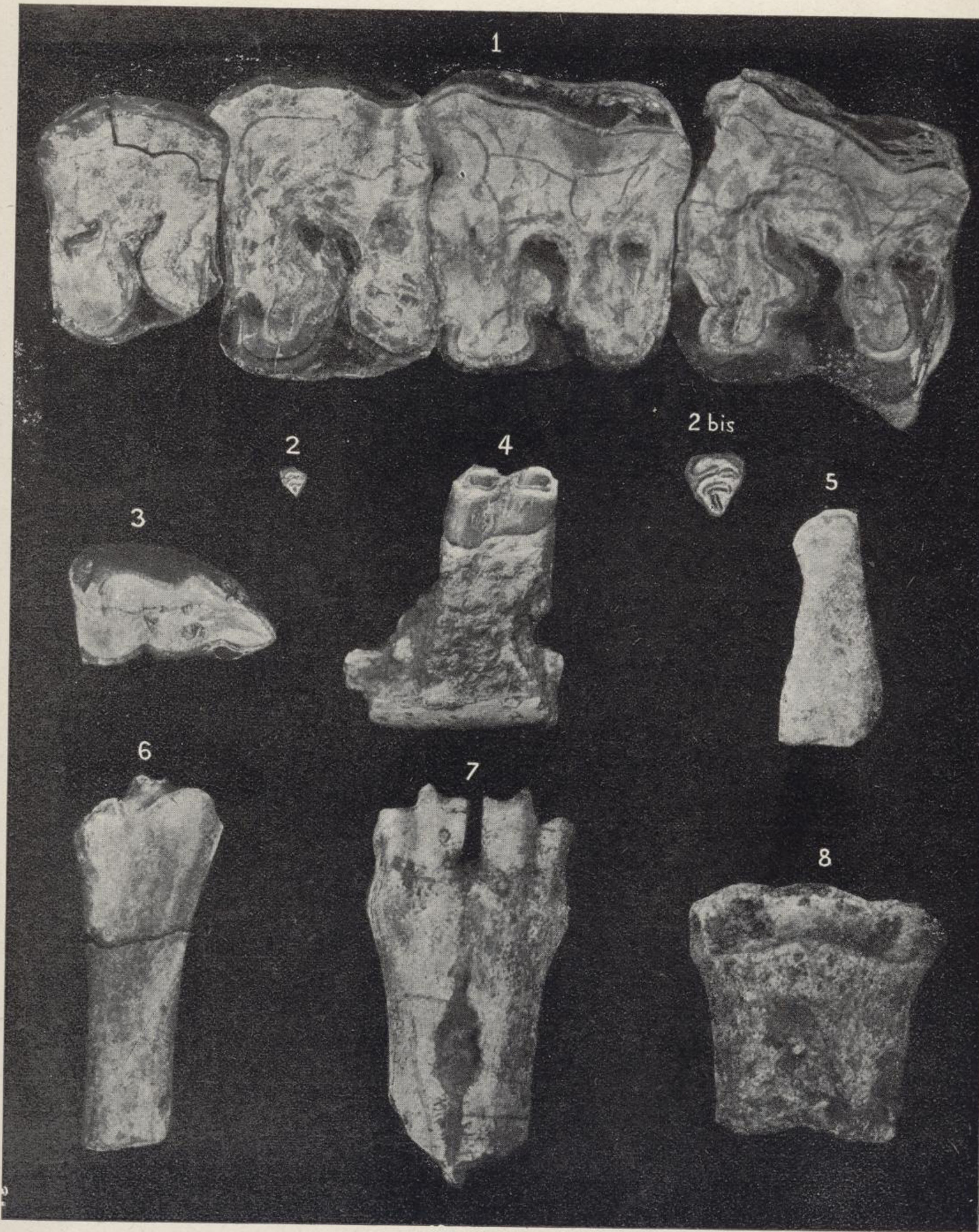




El yacimiento del Vindoboniense superior de la trinchera de Sant Quirze.

Fot. Centro Excursionista "Sabadell"





INDICE

	<u>Pág.</u>
Preámbulo	3
El Vallés occidental y su morfología	5
Antecedentes	7
Estratigrafía de la zona	11
El yacimiento	23
La fauna	26
Consideraciones acerca de la fauna de Can Ponsic.....	29
Bibliografía	35

**LOS MICROFORAMINIFEROS FOSILES
Y SU UTILIDAD
EN GEOLOGIA ESTRATIGRAFICA**

POR

G. COLOM

LOS MICROFORAMINIFEROS FOSILES Y SU UTILIDAD EN GEOLOGIA ESTRATIGRAFICA

Si en el campo de los estudios paleontológicos se ha efectuado durante los años que se intercalan entre las dos grandes guerras que la humanidad ha sufrido, 1918-1939, algún progreso notable, habrá sido sin duda el que se ha logrado trabajando dentro de los grupos más elementales y más diminutos de la vida: los Protistas. Los grandes descubrimientos y hallazgos de la paleontología clásica, con la exhumación de variados representantes de fenecidos grupos de mamíferos o de reptiles, tuvieron lugar principalmente al final del pasado siglo o principios del actual. Desde entonces, aunque el catálogo de las vidas pretéritas pertenecientes a estos órdenes no se haya cerrado por completo, se ha ido completando, sin embargo, dentro del marco de lo logrado ya por los pasados descubrimientos.

En cambio la micropaleontología ha obtenido durante estas últimas décadas positivos avances en el conocimiento de grupos muy diversos de Protistas, de los cuales no se esperaba encontrar jamás representantes fósiles a causa de la fragilidad de sus cuerpos o de sus conchas. Hoy en día es una rama de la ciencia de los fósiles intensamente cultivada, sobre todo en los países de lengua inglesa, dando origen a numerosos trabajos de investigación y hasta a la

publicación de revistas, exclusivamente dedicadas al cultivo de esta especialidad.

Sin embargo, estos estudios, podríase recordar, tienen un viejo abolengo en el Viejo Continente, ya que bien pudiera considerarse, sin reparo alguno, al que fué en su tiempo célebre naturalista, el alemán Ehrenberg, como el fundador de esta clase de investigaciones, pues sus obras fundamentales sobre microorganismos vivientes y fósiles, como «Die Infusionsthierchen als vollkommene Organismen» (2 vol. fol., Leipzig, 1838), «Mikrogeologie» (2 vol. fol., Leipzig, 1854), «Fortsetzung der Mikrogeologischen Studien» (in: Abhandl., der Akad., d. Wissenschaft., Berlín, 1875), fueron el punto de partida para ulteriores y más completas investigaciones. Pero tan sólo en los tiempos de Ehrenberg dos grandes grupos de seres microscópicos, que de una manera general reunían bajo el nombre de «Infusorios», acaparaban la atención de los hombres de ciencia; los de concha caliza con los Foraminíferos, y los de caparazón silíceo con Diatomeas y Radiolarios. Los demás órdenes se dejaban olvidados a causa de sus diminutas dimensiones o también porque aun entre las formas vivientes resultaban mal conocidos y por tal motivo de difícil interpretación cuando de material fósil se trataba.

Actualmente se han podido extraer de los viejos archivos de los sedimentos diferentes representantes fosilizados, pertenecientes a órdenes de microorganismos con una estructura tan elemental, con conchas de naturaleza tan delicada y frágil, como la de los Histricosféridos, por ejemplo, del grupo de los Dinoflagelados, maravillando que de su paso a través de los mares y de los milenios transcurridos desde los lejanos días de la época cretácea, en que vivieron, nos hayan podido dejar la huella indeleble de sus cuerpos en los estratos de la tierra, capaz de alcanzar hasta nues-

tros tiempos. Su hallazgo ha venido a confirmar lo que escribiera hace años el paleontólogo francés Gaudry, en una de sus importantes obras: «Peu a peu nous decouvrirens dans les couches terrestres les ancêtres des créatures qui nous entourent, si délicates qu'elles soient» («Fossiles Secondaires», vol. II, p. 37. 1890). (Fig. 1 del texto.)

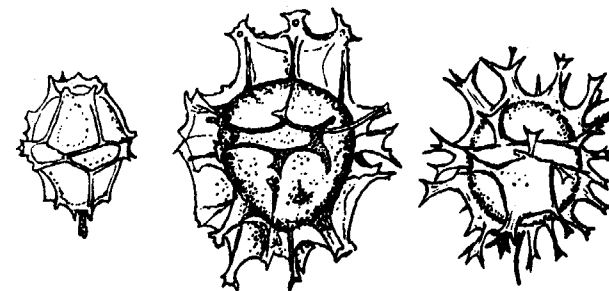


Fig. 1.—Hystricosféridos.

De izquierda a derecha: *Hystrichosphaera speciosa*, Defl.; *H. turcata*, Ehr.; *H. wetzeli*, Defl.

Y, efectivamente, organismos unicelulares de los más diversos órdenes han sido descritos al estado fósil. Diminutos caparazones silíceos, pertenecientes a las protofitas verdes del complejo grupo de las Crisomonadíneas, como las Crisostomatáceas y Arqueomonadáceas, hállanse, a veces, en innumerables cantidades en los trípolis de Europa y América. Los Silicoflagelados, antes confundidos con los Radiolarios, y que juntamente con las Coccolitoforídeas, abundantísimas estas últimas en el plancton de los mares cálidos, constituyendo lo que en la actualidad se llama «nannoplancton», llenan en muchos yacimientos el cemento de las rocas sedimentarias en cantidades fabulosas, como pudo comprobar ya Gümbel en el pasado siglo. Los diminutos Discoastéridos, desconocidos antes de las investigaciones del malogrado Tan Sin Hok. Las Ofiobelá-

ceas, extraños flagelados de cuerpo elipsoidal, sin caparazón de ninguna clase, con uno o varios flagelos largos y delgados y, no obstante, conservados en los sílex cretáceos. Numerosos géneros y especies pertenecientes a los Dinoflagelados o Peridíneas, admirablemente conservados también en el interior de los sílex y ofreciendo aún a la comprobación de los naturalistas su caparazón de naturaleza celulósica, sensible todavía a los reactivos yodados al ser extraídos de los nódulos silíceos que les contienen, gracias a la acción del ácido fluorhídrico. Nada parece entonces representar para ellos los siglos transcurridos desde que quedaron aprisionados en el fondo del mar cretáceo, dentro de las masas de sílice coloidal, que al deshidratarse y pasar del estado de *sol* a *gel* se convirtieron posteriormente en los nódulos silíceos que todos conocemos.

Las Ebriáceas, formas también silíceas y de extraño crecimiento, recordando por la estructura de sus caparazones a los Radiolarios. Son frecuentes en los yacimientos diatomíferos. Las Clamidomonáceas, protofitas de las aguas dulces, abundantes en ríos y lagunas y en los depósitos lacustres. Y tantas otras más, cuya enumeración daría demasiada extensión a este trabajo.

Del gran grupo de los infusorios ha sido posible reconocer, últimamente, un notable conjunto de especies, pertenecientes a la sección de los Oligótricos; formas planctónicas, loricadas, de la familia de los Tintínnidos, algunas de cuyas especies eran ya conocidas, desde hace tiempo, bajo el antiguo nombre de Calpionelas, pero sobre cuya filiación taxonómica nada se sabía en concreto. Gracias a nuevos e interesantes materiales, conteniendo un mayor número de formas fosilizadas y con estructuras diversas dentro de esta familia, ha sido posible identificar a las antiguas Calpionelas como verdaderos Tintínnidos fósiles, fre-

cuentísimos en las calizas finas, sublitográficas, del Titónico y Neocomiense de las Baleares y del SE. de España.

No cabe ya insistir que, al mismo tiempo que estas investigaciones sobre los Protistas fósiles se iban desarrollando, los trabajos y estudios dedicados a los microforaminíferos se multiplicaban sobremanera, lográndose en la actualidad un conocimiento muy preciso sobre un gran conjunto de géneros y especies pertenecientes a estos grupos. Los datos que estos estudios han proporcionado han sido diversos, de modo que el conocimiento de sus asociaciones en facies sedimentarias diferentes, así como su distribución a través del tiempo y del espacio, han alcanzado un alto grado de precisión. Principalmente para los grupos desenvueltos desde el Cretáceo hasta la época actual, pues los microforaminíferos del Jurásico, sobre todo los pertenecientes a sus términos inferiores, resultan mal conocidos aún. Y lo mismo ocurre, aunque en mayor grado, con los del Triás-Paleozoico, debido, en gran parte, a la alteración sufrida por sus caparazones en los sedimentos de estas edades.

Amplio campo ofrecen, pues, para el paleontólogo los estudios sobre los microorganismos fósiles. Y cabe preguntarse ahora: ¿Responderán seres tan sencillos a la ley de la sucesión orgánica a través de las etapas de la evolución de nuestro planeta? ¿Podrán encontrarse entre los mismos, grupos o formas particulares debidas a rápidas mutaciones o adaptaciones y características, por tal causa, de un momento dado, del fluir del tiempo geológico? Recordemos de paso, ya que el tema nos lleva a ello, el desenvolvimiento histórico de los conocimientos paleontológicos.

Una de las primeras observaciones fundamentales llevadas a cabo por los paleontólogos desde la época de Cuvier, fué la comprobación evidente de que existió una distribu-

ción en el tiempo de las formas orgánicas, cuyos restos iban reconstruyendo lentamente los hombres de ciencia. Muchas de las especies descubiertas revelaban una afinidad, cada vez más remota, con las actuales vivientes, afinidad tanto más débil, en general, cuanto más alejadas se hallaban éstas de aquéllas por la inmensidad de los milenios transcurridos. Y para determinados grupos fósiles comprobóse más tarde que en la vida actual ya no estaban representados.

Así pues, en los albores de la fundación de la Paleontología científica, vióse claro que una larga historia, en el tiempo, iba vinculada al desarrollo de las especies o de los diferentes grupos orgánicos. Infinidad de seres han aparecido en un determinado momento de la historia de la Tierra, para extinguirse luego tras una carrera de duración y vicisitudes diversas, típicas éstas también para cada grupo, hasta que al ritmo de las horas que regían sus vidas, una de ellas, la postrera, señaló inexorablemente su último instante. Su aparición en un lugar determinado de nuestro planeta y en el momento preciso de una época geológica cualquiera, nos aparece ante nosotros actualmente envuelto casi siempre en profundo misterio. En cambio, sus vidas y posterior desarrollo, juntamente con su desaparición, podemos seguirlas con más o menos facilidades a través de los estratos de los antiguos sedimentos, sean estos marinos o lacustres. Sin embargo, las causas intrínsecas de estos fenómenos biológicos nos escapan, y no llegamos a comprenderlas más que de una manera vaga, a pesar de la mucha luz que últimamente se ha hecho sobre estas delicadas cuestiones. Apariciones y extinciones son dos de los grandes problemas con los cuales se enfrenta la paleontología moderna, problemas de alto valor científico por tocar directamente los inquietantes misterios del ori-

gen de la vida sobre nuestro planeta. Tema sobre el cual han trabajado durante estas últimas décadas numerosos investigadores, lo mismo los provenientes del campo biológico como los cosechados en el puramente paleontológico. Pero su unión ha permitido positivos avances en el conocimiento detallado de la evolución de los seres orgánicos. Estudios, en fin, puramente teóricos, pero que han venido a servir a la ciencia de aplicación, pues las investigaciones sobre apariciones y extinciones de grupos o de especies, con sus múltiples adaptaciones, fluctuaciones o variaciones diversas, lo mismo en el tiempo que en el espacio, juntamente con todos los problemas que la noción de *especie* suscita, han proporcionado datos útiles en paleontología estratigráfica, ya que es en gran parte sobre ellos que el paleontólogo se apoya para conocer las formas cuyo paso sobre la Tierra fué rápido y fugaz en extremo, sobre todo juzgándolo nosotros después de las inmensidades de tiempo transcurridas, dando lo que ahora se llaman los fósiles de nivel o fósiles característicos, los *Leithfossilien* de los alemanes, *index-fossil* de los ingleses, etc., o bien los otros grupos, cuya longevidad y constancia específica, a través de un tiempo más o menos dilatado, resultan en este caso de menos o nula utilidad.

Desde luego, y en lo que concierne de la utilidad de los Foraminíferos en general, y de su empleo en los estudios bioestratigráficos, podrá parecer pueril y hasta fuera de lugar discutir, en estos momentos, su empleo en el sentido que nos ocupa, pues los ejemplos que tenemos a mano y conocidos de todos, resultan demasiado convincentes. Las Fusulínidas, para las últimas épocas del Paleozoico; las Alveolínidas, cuyas especies se extienden desde el Secundario hasta la base del Terciario; Orbitolinas y Orbitoides cretáceos; Orthophragminas y Lepido-

cyclinas, subdivididas últimamente en numerosos subgéneros, cuyas especies se distribuyen en los diferentes pisos del Terciario y, finalmente, los Nummulites, tan utilizados y tan constantes sus diferentes especies en los pisos respectivos. Sin embargo, no olvidemos, como hasta ahora se ha hecho, la masa enorme de individuos pertenecientes a otras familias, con caparazones diminutos y frágiles, que en los lechos sedimentarios llegaron, a veces, a constituir un elemento preponderante o simplemente exclusivo para algunas de estas mismas formaciones. ¿Son entonces también de alguna utilidad en estratigrafía o correlaciones estratigráficas? En la actualidad no cabe duda alguna. Pero así como en el campo de la paleontología general debemos distinguir y separar grupos y especies, sujetas a una variación rápida, localizada en un período determinado, en otros comprobamos cómo una pausa muy lenta rige el ritmo de sus fluctuaciones o modificaciones, sean éstas hereditarias o simplemente de adaptaciones diversas a medios particulares. Entre los microforaminíferos podremos hallar ejemplos bien típicos de esta clase.

Lo que con frecuencia ha ocurrido dentro de esta clase de estudios es, que debido a las dificultades ofrecidas para la determinación de estas diminutas conchas, vinculada también a una técnica especial y a una numerosa bibliografía, no siempre fácil de reunir, hayan sido en general abandonadas, no teniéndose en cuenta en muchos casos más que como microfósiles útiles, tan sólo para distinguir facies particulares de naturaleza litológica, facies pelágicos, neríticos, zoogenos, etc., entonces de gran interés ante cualquiera investigación de carácter paleogeográfico.

Pero la micropaleontología de los pequeños foraminíferos puede decirse que no alcanzó su desarrollo completo hasta que este grupo de organismos fué ampliamente utili-

zado en las investigaciones de geología, aplicada a la busca y localización de los yacimientos petrolíferos, durante e inmediatamente después de la primera guerra mundial de 1914-18. Desde entonces las compañías norteamericanas dedicadas a este fin, emplean un numeroso personal de micropaleontólogos y de ayudantes preparadores que, según recientes informaciones dadas por revistas de dicho país, alcanzaba la cifra de 400 personas ocupadas en esta clase de trabajos en un solo grupo de sociedades petrolíferas, establecidas a lo largo de las costas del Pacífico. Este ejemplo tuvo más tarde sus imitadores en Europa, y en la actualidad son también muchas las compañías petrolíferas europeas que cuentan, entre su personal de geólogos especializados, sus equipos de micropaleontólogos, distribuidos en los laboratorios donde radican sus principales centros de estudio.

Como apunté más arriba, tal vez existan pocos grupos de organismos como el de los pequeños foraminíferos, tan útiles, desde el punto de vista paleogeográfico, para proporcionar al geólogo un estimable conjunto de datos relacionados con la reconstrucción de los más diversos medios y facies marinas. Debido a su enorme acumulación en las más diversas zonas de los océanos actuales o pretéritos, sus variadas familias y géneros nos proporcionan un notable conjunto de asociaciones típicas, desenvueltas ampliamente en medios batilitológicos distintos o característicos de una formación pelágica costera o de alta mar. En la actualidad se emplea eficazmente en las investigaciones de esta clase, no tan sólo los foraminíferos u otros microfósiles cualquiera, sino también el estudio detallado de los minerales que contiene el sedimento que se investiga. La distribución vertical de los mismos en los antiguos depósitos, lo mismo que su repartición dentro de una vasta área

geográfica, además de los organismos acumulados en esos estratos, proporcionan un estimable conjunto de datos sobre la naturaleza y origen del sedimento que se tiene entre manos.

Las formas pelágicas de los géneros *Globigerina*, *Globotruncana*, *Globorotalia*, *Orbulina*, *Hastigerina*, *Pullenia*, *Sphaeroidina*, etc., acumuladas en número enorme de individuos en determinados estratos, pero más bien pobres en diversidad de especies, nos dicen de depósitos pelágicos formados lejos de las influencias terrígenas. Según las especies encontradas en tales yacimientos, sobre todo para el Terciario, nos resultará fácil averiguar si se trataba de un plancton tropical, de una zona templada o incluso fría. Si a ellos se les añaden abundantes representantes del bentos de la familia *Lagenidae*, con *Nodosarias*, *Dentalinas*, *Robulus* (= *Cristellarias*), *Vaginulinas*, *Lingulinas*, etcétera, formas en general amantes de las aguas frías y profundas, asociadas a su vez con un determinado número o conjunto de especies arenáceas, bentónicas igualmente, esta clase de sedimentos nos revelarán entonces depósitos batiales característicos, cuya profundidad podremos apreciar según los resultados que las mencionadas sinecias nos indiquen.

En las formaciones pelágicas del Cretáceo o del Terciario, como las conocidas *couches-rouges*, para el primero de estos períodos, o determinadas facies margosas para el segundo, encuéntrase una gran proporción de representantes de las familias *Heterohelicidae* y *Buliminidae*, dando numerosas especies típicas a causa de su rápida evolución a través de estos depósitos.

En cambio, en las zonas costeras hallamos el dominio apropiado para un conjunto de asociaciones ricas en especies de las familias *Miliolidae*, *Peneroplidae*, *Nonionidae*,

Camarinidae, etc. Para un buen número de géneros de la primera familia su presencia revela seguidamente más bien formaciones litorales con *Miliolas*, *Quinqueloculinas*, *Triloculinas*, *Idalinas*, *Periloculinas*, tan abundantes estas últimas en el Cretáceo superior. Las *Biloculinas*, en cambio, son más propias de aguas frías, abundando actualmente en los mares del Norte, a escasa profundidad, o bien en sus equivalentes batiales hasta profundidades muy grandes. Los *Peneroplis*, *Vertebralinas*, etc., vivieron a escasa profundidad, encontrándose fosilizados en depósitos más bien costeros o de playas. Las especies del género *Nonion* afectan, con particular constancia, los sedimentos o zonas de barros, constituídos no muy lejos de la costa. *Elphidium* (= *Polystomella*) es característico de formaciones litorales para muchas de sus especies. Todas estas familias contienen formas, no tan sólo típicas para las facies respectivas, sino también para horizontes geológicos determinados.

Un notable conjunto de géneros, distribuidos en diversas familias, todos provistos de caparazones grandes y de estructura arenosa aglutinada, vivieron en aguas profundas, con profundidades medias bastante notables. Entre ellos tenemos las *Tchnitellas*, *Cyclamminas*, *Astrorhiza*, *Bathysiphon*, *Rhabdamminas*, *Crithioninas*, etc., siempre raras o escasas en los antiguos sedimentos fósiles.

Por tal motivo, y ante estos ejemplos que rápidamente apunto, quien conozca la ecología de las sinecias de los pequeños foraminíferos podrá, valiéndose de ellos, aunque en muchos casos no llegue en su estudio más que hasta las determinaciones genéricas, reconstruir con bastante precisión los diversos medios marinos y comprender su valor e importancia dentro de las reconstrucciones paleoceanográficas.

Las variaciones específicas llevadas a cabo dentro de

estas poblaciones de foraminíferos son más bien lentas que rápidas, y a base siempre de modificaciones estructurales leves, no siempre muy apartadas de un tipo o forma ancestral. Debido a ello un sabio investigador, fallecido estos pasados años, dejó escritas estas palabras, de cuya veracidad los hechos vienen a corroborarlas todos los días: «... il est plus facile de confondre deux faunes de même facies et d'âge different que deux faunes de même âge et de facies different.» (J. Gubler, Soc. Scient. Nat. Maroc., 1940). Sin embargo, en determinadas especies, esta variación resulta más rápida, llevándose a cabo dentro de algunas de ellas de una manera brusca y sobre un conjunto de poblaciones, extendidas a lo largo de una gran área geográfica cuando se trata de formas pelágicas. Por tal motivo hállase muy difundida entre paleontólogos la idea lamarkiana de modificaciones estructurales, llevadas a cabo y al unísono sobre un gran conjunto de individuos, desarrollándose en un medio particular y desenvueltos sobre un área geográfica muy extensa. Algunas formas pelágicas responden bien a esta manera de pensar. Entre las poblaciones neríticas del bentos, las influencias particulares del medio en el cual se han desarrollado proporcionan variaciones o mutaciones de un tipo más restringido y localizado, características de una localidad determinada o de un horizonte geológico definido. Como en la paleontología general, el micropaleontólogo luchará siempre ante la dificultad de distinguir lo que fueron tan sólo simples adaptaciones no heredables de un medio determinado, de las verdaderas modificaciones genéticas, cuya transmisión de caracteres pasa, con nuevas aportaciones, a través del tiempo, en una especie o grupo de foraminíferos. La causa biológica o física que impulsa estas fluctuaciones será difícil reconstruirla en el mundo fósil. Por tal motivo, nos con-

tentamos las más de las veces a comprobarlas en tal o cual grupo, convirtiéndose desde este momento en un *fósil característico*. Tan sólo en unos pocos grupos, cuyo conocimiento se halla en la actualidad algo avanzado, la reconstrucción filogenética del mismo nos proporciona una comprensión más razonable de su variación. Como ya he dicho anteriormente, son precisamente estas formas las que interesa conocer al geólogo.

En la familia Miliolidae, conocida y muy estudiada desde antiguo, encontramos géneros típicos para ciertos períodos. Las Pentellinas de Munier-Chalmas y Schlumberger, provistas de una abertura cribosa, son las mismas formas que Lamarck describió como Miliolas y, por tal motivo, se conocen en la actualidad bajo esta denominación genérica. Son características del Eoceno. Las Quinqueloculinas d'Orbigny poseen la misma estructura que las Miliolas eocenas, pero su abertura no es cribosa. Los géneros *Heterellina* M.-Chalmas y Schlumberger, *Trillina* M.-Chalmas, se encuentran en las formaciones eocenas y oligocenas. *Fabularia* Defrance, con especies repartidas desde el Eoceno al Mioceno. *Idalina* M.-Chalmas y Schlumberger, típicas del Cretáceo superior, lo mismo que las especies conocidas de los géneros *Periloculina* y *Lacazina*.

Esta enumeración de géneros, dando microforaminíferos muy empleados en estratigrafía, podría ocupar muchas páginas, y precisamente por tal causa no les daré mayor extensión, prefiriendo analizar algunas familias cuyos representantes son bastante bien conocidos en la actualidad. Trazaré su historia rápidamente, desde su aparición hasta su extensión en unos casos, o su continuidad hasta la época actual. Son las familias Textulariidae, Verneuilinidae y Valvulinidae, como formas arenáceas del bentos, y para otro grupo de formas pelágicas, el de las Globotruncanas,

trazaré su evolución y su distribución en los estratos del Cretáceo medio y superior de nuestra patria, aunque el género tenga representantes desde el mencionado período hasta los mares actuales. Su conocimiento podrá resultar, para quienes se ocupen con particular interés de la estratigrafía de esta época, de ayuda eficaz en la distinción de los diferentes pisos, desde el Albense superior hasta el Maestrichtiense.

La familia Textulariidae comprende un conjunto de géneros cuyo origen se remonta hasta el Paleozoico. Todas poseen caparazón arenoso aglutinado. El género *Textularia*

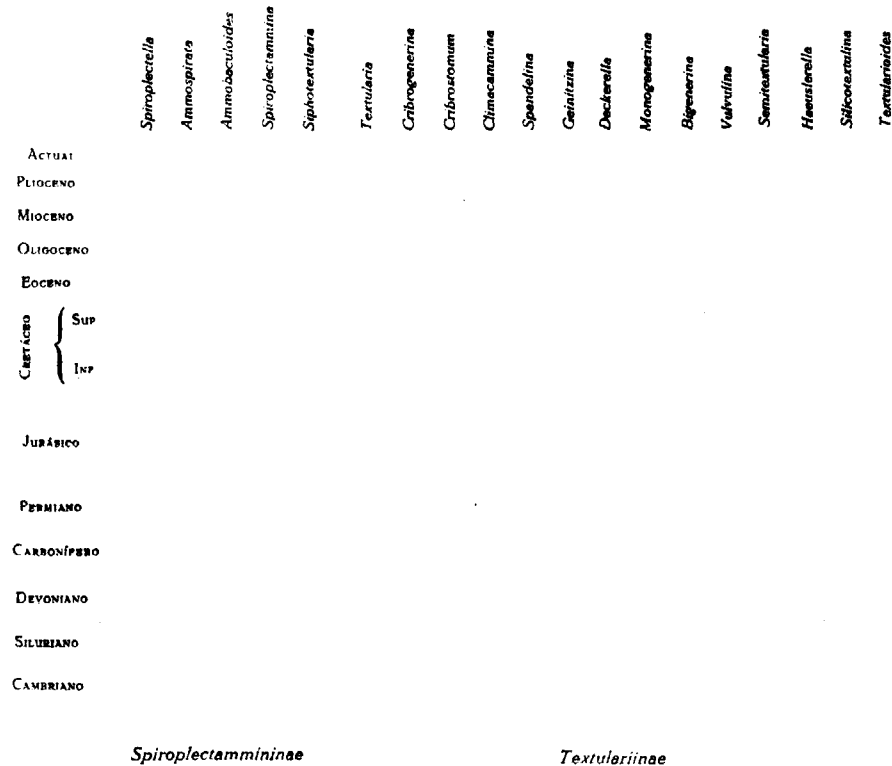


Fig. 2.—Cuadro I; familia Textulariidae.

es el más primitivo de todos ellos, pues sus primeros representantes hállanse ya en las formaciones cambrianas (cuadro núm. 1). Su carácter fundamental en la estructura del caparazón es la existencia, en su primera porción inicial, de una serie de cámaras dispuestas en una espiral plana, seguido después por cámaras alternantes o en una sola serie. Según Cushman, esta familia muestra estrechas relaciones con los Lituolidae. En las verdaderas Textularias esta disposición de sus primeras cámaras no siempre resulta visible. Sin embargo, en las formas microesféricas se observa, según las especies, fósiles o actuales, más o menos claramente esta iniciación planoespiral de su desarrollo y, por tal motivo, reina cierta confusión sobre la validez de este género o el de las Spiroplectammina, en el cual esta disposición espiral es bien visible. Debido a tal estructura inicial, la familia Textulariidae se subdivide en dos subfamilias: la de las Spiroplectammininae, con sus primeras cámaras dispuestas en una espiral plana, y la de las Textulariinae, con cámaras iniciales alternantes desde el principio o tan sólo con una brevísima iniciación plano-espiral, no comparable por su tamaño con las del primer grupo.

La subfamilia Spiroplectammininae vemos cómo se escalona en el tiempo con una primera forma, sin duda derivada de su verdadero tronco ancestral que, en este caso, no parece pueda ser otro que el de las verdaderas Textularias, por el género *Semitextularia* Miller y Cramer, 1933, aparecido y extinguido durante el Devoniano (figura 3). Sus primeras cámaras ofrecen ya una disposición plano-espiral bien manifiesta. Los demás géneros que de él se derivan, a través del Permiano y del Secundario, ofrecerán igualmente esta estructura inicial bien aparente. *Ammobaculites* representa una rápida variación, localiza-

da en el Cretáceo superior de Norteamérica. *Spiroplectamina* es un género rico en especies, llegando hasta la época actual con *Ammospiraia*.

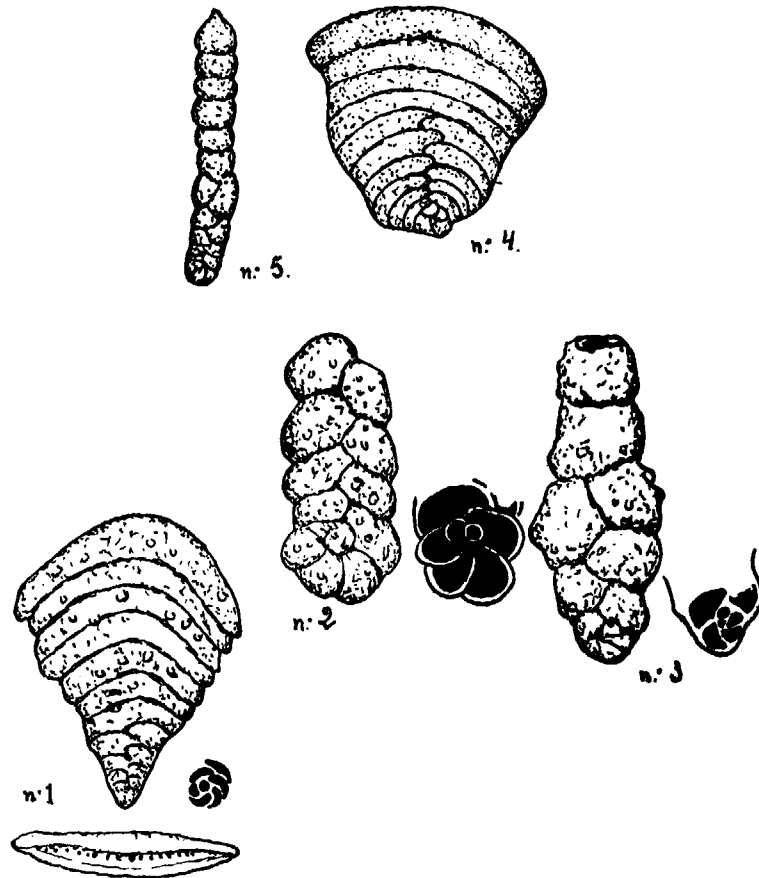


Fig. 3.—Subfamilia Spiroplectammininae.

1. *Semitextularia Thomasi* Miller y Carmer. Devoniano (según Miller).—2. *Spiroplectamina biformis* Park.-Jon. (según H. Allen y Earland).—3. *Ammobaculooides navarroensis* Plummer. Cretáceo superior (según Plummer).—4. *Ammospirata mexicana* Cushm. Oligoceno inferior (según Cushman).—5. *Spiroplectella cylindroides* Earland. Viviente (según Earland).

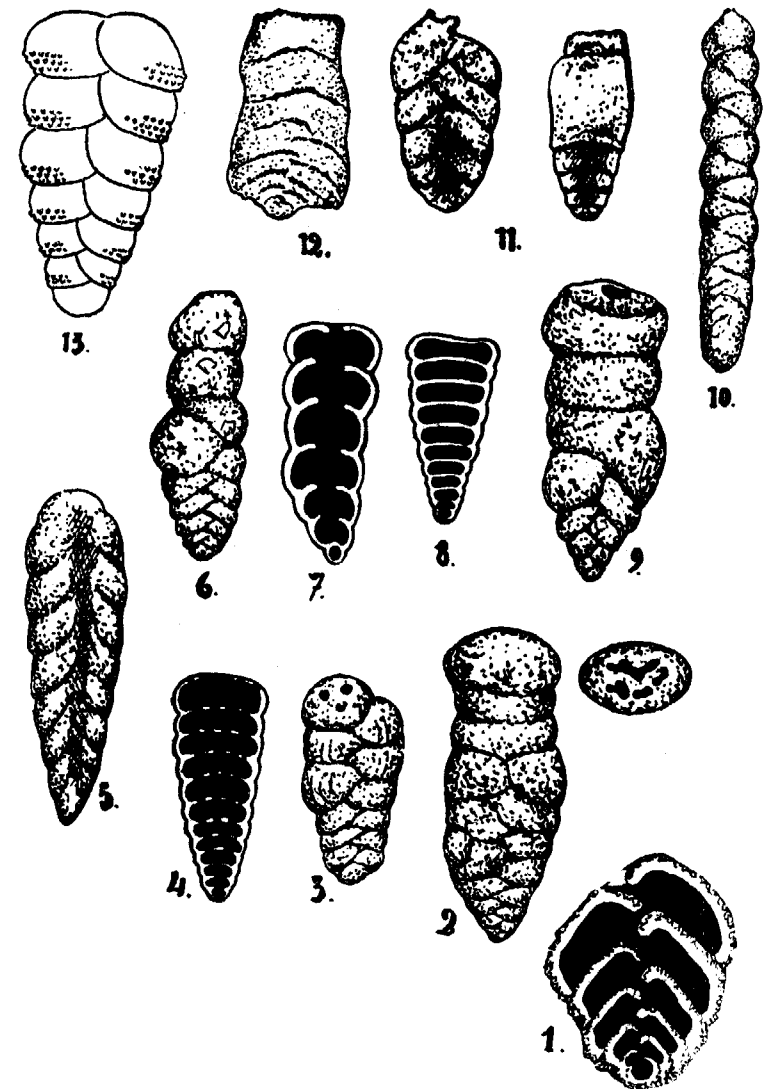


Fig. 4.—Subfamilia Textulariinae.

1. *Textularia subangulata* d'Orb.—2. *Climacamma cylindrica* Cush.-Wat. Pensilvaniense de Texas (según Cushman y Waters).—3. *Cribrostomun Bradyi* Möller. Carbonífero de Rusia (según Möller).—4. *Cribrogenarina* sp. (según Cushman). Sección.—5. *Spandolina excavata* Cushm.-Waters (según Cushman y Waters).—6. *Bigenerina ciscoensis* Cush.-Wat. Pensilvaniense de Texas (según Cushman y Waters).—7. *Monogenerina atava* Spandel (según Spandel). Sección.—8. *Geinitzina postcarbonica* Spandel (según Spandel). Sección.—9. *Deckerella clavata* Cushm.-Wat. Pensilvaniense de Texas (según Cushman y Waters).—10. *Haeuslerella pukeuriensis* Parr. Mioceno (según Parr.).—11. *Siphotextularia wairoana* Finlay. Terciario (según Finlay).—12. *Vulvulina Colei* Cushm. Eoceno.—13. *Silicotextulina diatomitarum* Deflan. Mioceno (según Deflandre).

De las verdaderas Textularias más primitivas (figura 4) derivan una serie de géneros, como *Cribrogenerina*, Schurber, con cámaras dispuestas siempre en una serie lineal, sin ningún indicio de un principio alternante; *Cribostomum*, Möller, con cámaras alternantes desde su primera porción; *Climacammina*, Brady, verdadera *Textularia* en su primera porción, pero después con cámaras simples en línea recta. Los tres géneros aparecen y se extinguen durante el Carbonífero-Permiano. En este último período, *Geinitzina* Spandel, *Deckerella* Cush.-Waters y *Monogenerina* Spandel, aparecen, pero se extinguen rápidamente al final del mismo, dando fósiles típicos. Pero muchas de las figuras de estas formas paleozoicas, sobre todo las dadas por Möller, son más bien convencionales, y su conocimiento no es aún lo suficiente preciso.

De estos géneros paleozoicos salieron, sin duda, otros géneros, como *Spandelina* Cush.-Waters, *Bigenerina* d'Orb., *Vulvulina* d'Orb., con muchas especies durante el Secundario y Terciario, típicas muchas de ellas para diferentes pisos.

Se cree en la actualidad que de la familia Textulariidae derivaron más tarde dos grupos muy afines a la misma, agrupados hoy bajo los nombres de Verneuilinidae y Valvulinidae, caracterizados, el primero, por poseer tres cámaras alternas desde el principio y en general, sobre todo en las formas más primitivas, dando tres lados angulosos, como en las verdaderas Verneuilinas, cuyo origen se remonta hasta los lechos del Jurásico. El segundo, o sea la familia Valvulinidae, posee igualmente, desde el principio de su desarrollo, tres cámaras iniciales, principalmente en las formas más primitivas, pero seguido inmediatamente este estado por otras cámaras, dispuestas en una espiral que llega a contar cuatro o cinco de ellas en una sola vuelta.

Caparazones siempre arenáceos en ambas familias. Las dos dan un buen número de géneros y de especies sumamente útiles en estratigrafía (véanse los cuadros números 2 y 3).

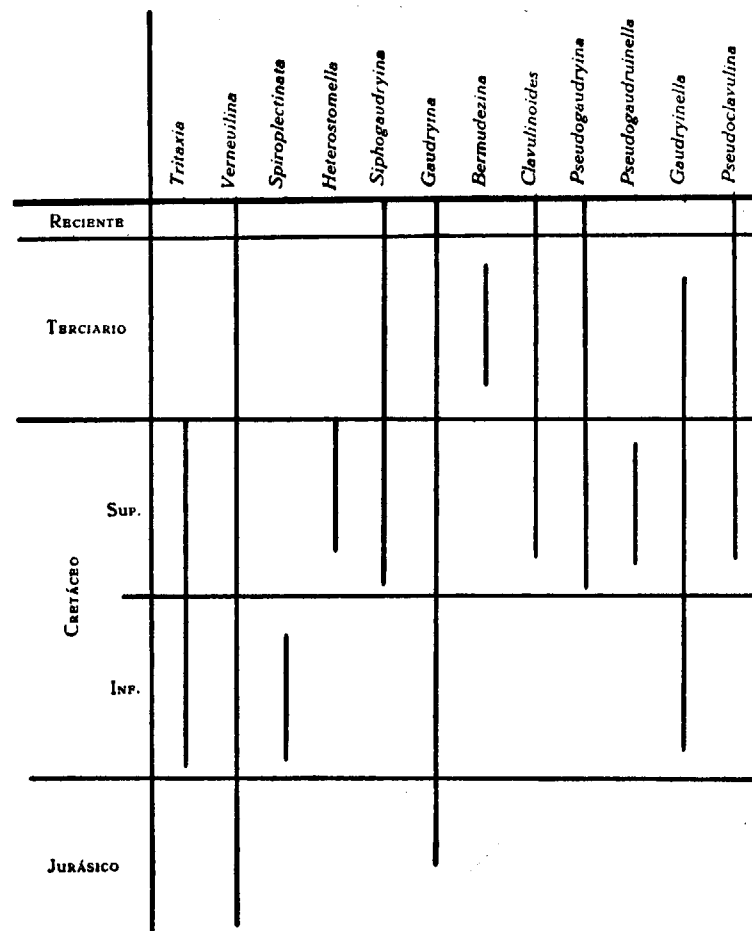


Fig. 5.—Cuadro 2; familia Verneuilinidae.

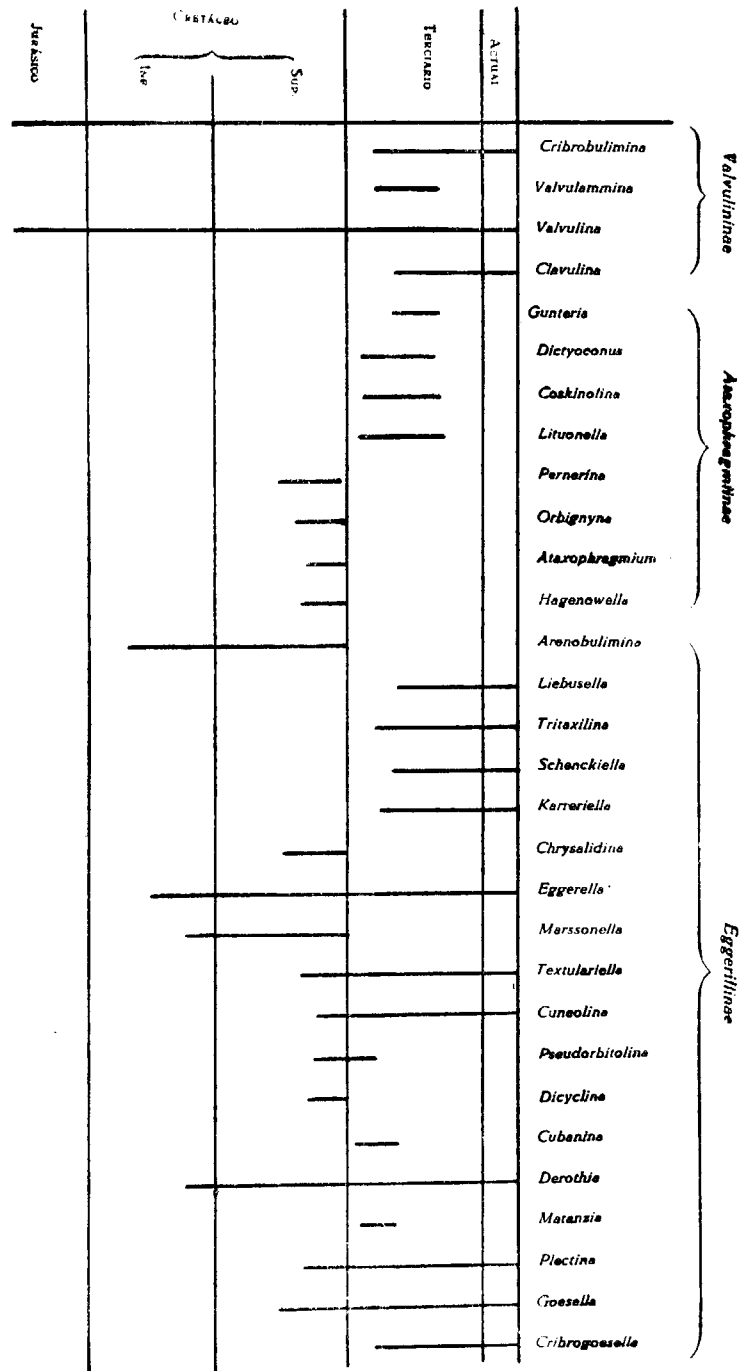


Fig. 6.—Cuadro 3; familia Valvulinidae.

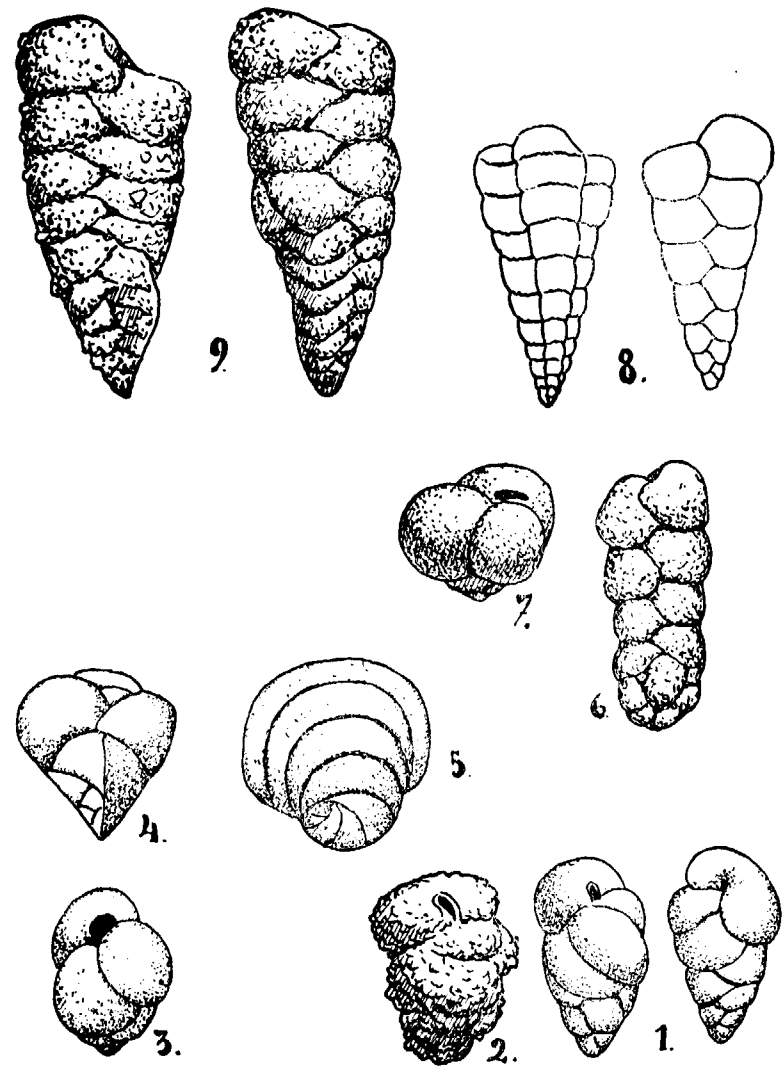


Fig. 7.

Familia Valvulinidae: 1. *Arenobulimina Macfadyeni* Cushman. Cretáceo inferior (según Cushman).—2. *Arenobulimina sabulosa* Chapm. Cretáceo inferior (según Cushman).—3. *Valvulina bullata* Brotzen. Senoniense inferior (según Brotzen).—4. *Valvulina triangularis* d'Orb. Eoceno (según el modelo de d'Orbigny).—5. *Pernerina depressa* Perner. Cretáceo (según Cushman).—6. *Dorothia gradata* Berth. Cretáceo inferior (según Cushman).—7. *Eggerella inflata* Franke. Cretáceo (según Franke).—Familia Verneuilinidae: 8. *Verneuilina Maurittii* Terquem. Jurásico (según Terquem).—9. *Gaudryina rugosa* d'Orb. Cretáceo (según Cushman).



La familia Verneuilinidae (figura 7) no es muy rica en géneros, pero, en cambio, algunos de ellos reúnen un número grande de especies y variedades, como en los géneros *Verneuilina* d'Orb. y *Gaudryna* d'Orb., distribuidos, para el primero, desde la base del Jurásico y, para el segundo, con su más primitiva forma, *Gaudryna hawkinsi* Cushm., del Kimeridgiense de Inglaterra hasta la época actual. El género *Tritaxia* Reuss proporciona un interesante conjunto de especies, muy empleadas en la estratigrafía del Cretáceo, lo mismo en sus lechos más inferiores que hasta el Maestrichtiense. *Spiroplectinata* Cushman y *Heterostomella* Reuss dan igualmente interesantes especies, localizadas en el Cretáceo inferior para el primero y en el superior para el segundo. Los demás géneros, aunque muchos de ellos ofrezcan una mayor longevidad, tienen siempre entre sus numerosas especies formas muy características para determinados pisos.

La familia Valvulinidae (cuadro 3) es en cambio muy rica en géneros y especies, subdividiéndose en tres subfamilias: Valvulininae, Eggerellinae y Ataxophragmininae.

La primera subfamilia posee una corta serie de géneros, de los cuales *Valvulina* es el más primitivo, con cámaras en sus primeros estados de desarrollo, en número de tres y comúnmente triangulares. Las demás siguen en número variable. Los géneros comprendidos en la subfamilia Eggerellinae tienen sus primeros estados con cuatro o cinco cámaras en una vuelta espiral; las demás alternantes o simples. Los Ataxophragmininae poseen igualmente sus primeros estados con cuatro o cinco cámaras, pero las otras resultan de forma muy variada, extendidas, aplanadas y en mucho mayor número.

Así pues, en estas tres subfamilias la complicación estructural de sus conchas va alcanzando un alto grado de

diferenciación, demostrado por el aumento y variedad en la colocación de sus cámaras, desde sus más primitivos estados de desarrollo hasta alcanzar en los Ataxophragmininae una disposición estructural complicada, marcando un perfeccionamiento no superado ya.

De todo el conjunto de géneros agrupados en la familia Valvulinidae vemos cómo muchos de ellos dan microfósiles muy localizados en las formaciones geológicas. Así, en el Cretáceo superior hallamos *Pernerina* Cushman, *Orbignyna* Hagenow, *Ataxophragmium* Reuss, *Hagenowella* Cushman, y en el Terciario *Gunteria* Cush. Ponton, con *G. floridana*; del Eoceno medio de la América central, *Dictyoconus* Blanckenhorn, con numerosas especies localizadas en el Eoceno, lo mismo que *Coskinolina* Stache y *Lituonella* Schlumberger. Este grupo de formas ha sido muy estudiado, y su identificación en secciones delgadas es también posible. Otros géneros, que el lector encontrará señalados en el cuadro número 3, pertenecen a otros pisos geológicos, y todos ellos pueden ser ampliamente utilizados en las correlaciones y estudios estratigráficos.

Otros muchos ejemplos podría traer ahora a estas páginas sobre la localización de familias y géneros en determinados períodos geológicos, algunos muy notables, como el de la familia Hantkeninidae, con sus géneros *Schackoina*, para el Cretáceo, y *Hantkenina*, para el Eoceno y Oligoceno, en las facies margosas, pero no muy profundas. La familia Victoriellidae para el Terciario. Los géneros *Siderolites*, *Arnaudidella*, *Siderina*, para el Cretáceo, y *Pellatospira*, *Baculogypsina*, *Baculogypsinoides*, para el Terciario; todos de la familia Calcarinidae. Pero el trabajo sería demasiado extenso.

Entre las formas pelágicas, y por tal causa de gran difusión en las formaciones que ofrecen esta facies marina,

tenemos a la familia Globorotaliidae, derivada directamente de las Globigerinidae propiamente dichas. Grupos ambos esencialmente planctónicos y adaptados a ese género de vida. En este estudio fijaré mi atención en el género *Globotruncana* Cushman, 1927, cuyos representantes estaban antes considerados, unos como verdaderos rotálidos, propios de esta familia, o distribuidos irregularmente en los géneros antiguos, no admitidos en la actualidad, como *Rosalina*, *Pulvinulina*, etc. Sus primeros representantes aparecen durante el Cretáceo medio, dando entonces origen a un gran número de formas, algunas de las cuales pasan al Terciario y perdurando otras hasta nuestros días. Seguir la evolución de todas ellas saldría de mis proyectos ahora y, por tal motivo, tomaré en consideración únicamente la historia de las especies más primitivas de este género y la evolución, después, del conjunto de formas agrupadas antes bajo el nombre de *Rosalina Linnei* d'Orb., desenvueltas durante el Cretáceo superior y subdivididas durante estos últimos años por varios investigadores en un conjunto de subespecies de evolución rápida, a través de los sedimentos pelágicos del Cretáceo superior.

Este grupo de especies del género *Globotruncana* ha sido intensamente estudiado, desde los trabajos fundamentales del Profesor J. de Lapparent, en la región de Hendaya, y perfeccionados, posteriormente, por Gandolfi, Renz, Marie, Tschatli, Leupold, Bolli, etc., principalmente valiéndose de materiales procedentes de las formaciones alpinas. Gracias a estos foraminíferos se ha podido precisar con mayor exactitud la estratigrafía de las monótonas formaciones margosas de los Alpes suizos, etc. Los resultados, tanto morfológicos como bioestratigráficos, para este grupo de formas, logrados por los mencionados investigadores, he podido comprobarlos en nuestra patria, lo mismo en

las formaciones profundas de las Baleares y Sur de España, sino también para determinados niveles del Flysch cantábrico, gracias a las numerosas recolecciones de muestras litológicas, llevadas a cabo por el profesor Gómez de Larena, de San Sebastián.

Los dos grupos de especies, estudiadas a continuación, son las siguientes:

Formas cenomanenses:

Globotruncana ticinensis Gand.

- *apenninica* Renz (lám. III, figs. 1-16 y 18-19).
- *Renzi* Gand. (lám. II, fig. 8; lám. IV, figuras 14-22).
- *alpina* Bolli (lám. IV, figs. 6-7 y 11).
- *helvetica* Bolli (lám. IV, figs. 1-3 y 5).
- *Stephani* Gand. (lámina IV, figs. 4, 8-10 y 12-13).

Formas del grupo de *Globotruncana Linnei* d'Orb. (= *Globotr. arca* Cushman) que aparecen y se desenvuelven desde la base del Turonense hasta, incluso para una de ellas, el Maestrichtiense:

Globotruncana Lapparenti Lapparenti Bolli (lám. IV, figuras 23-24; lám. V, figuras 1-9, 23).

- *inflata* Bolli (lám. III, figs. 17 y 20-24).
- *tricarinata* Quert. (lám. V, figuras 20-22 y 24; lám. VI, figs. 1-13 y 19).
- *coronata* Bolli (lám. VI, figuras 14, 15, 18 y 20).

Globotruncana Lapparenti bulloides Vogler.

Globotruncana Linnei (d'Orb.), s. l. (lám. II, figs. 1-3).

- — *pendes* Vogler.
- — *globigerinoides* Brotz. (lám. II, figuras 4-6).
- — *Leupoldi* Bolli (lám. II, figs. 9-12).
- — *caliciformis* (Lapp.) (lám. II, fig. 7; lám. VIII, figs. 7-8).
- — *Stuarti* Lapp. (lám. II, figs. 13-21; lám. VII, figs. 8, 10-11; lám. VIII, figuras 1-6).

Para las formas del primer grupo, *Globotruncana ticensis* Gand., juntamente con *G. apenninica* Renz, aparecen desde los niveles más altos del Albense, resultando las dos formas precursoras de este grupo. La primera parece extinguirse rápidamente en los niveles más bajos del Cenomanense. Hasta el presente no la he observado en España. La otra mantiénese durante todo este piso y hasta la base del Turonense, según Bolli. *G. apenninica*, posee una concha aplanada, con una sola quilla en sus bordes laterales, dando en secciones transversales un vértice externo muy agudo, lo mismo que el ángulo que describen sus cámaras.

Globotr. Stephani Renz es parecida a la anterior, pero las últimas cámaras poseen una forma más redondeada y, en cambio, las correspondientes a la primera porción de su última vuelta espiral tienden a presentar una gruesa quilla exterior con mucho material calizo. *Globotr. Renzi* Gand. posee una concha más cónica, con sus primeras cámaras espirales más altas sobre las posteriores, pero las últimas son de forma angulosa, agudas, sin quilla visible. Sin em-

bargo, las opuestas a las últimas cámaras ofrecen una quilla periférica más bien aguda. Ello es debido a que esta quilla no alcanza las últimas cámaras. Las dos indican niveles altos del Cenomanense, desapareciendo rápidamente en la base del Turonense.

La *Globotr. alpina* Bolli, y *G. helvetica* Bolli, son subespecies muy próximas entre sí. *G. helvetica* posee el lado ventral de las últimas cámaras más bien aplanado, pero éstas son altas, sobre todo las últimas en el lado dorsal. *G. alpina*, con cámaras de la última vuelta espiral de forma lanceolada, con vértice agudo en forma amamelonada y, como en la anterior, con sus primeras cámaras altas y salientes. *G. alpina* representa una mutación rápida, probablemente salida de *G. apenninica*, hasta ahora característica de los niveles altos del Cenomanense; en cambio *G. helvetica*, posiblemente una nueva modificación de la anterior, encuéntrase entre el límite del Cenomanense y la base del Turonense, pero su extinción es rápida. Todas estas formas son bastante frecuentes en el Cenomanense de Mallorca, no siendo difíciles de distinguir unas de otras cuando, siendo frecuentes en los lechos de estos pisos, pueden obtenerse de ellas buenas secciones transversales de sus conchas. En las láminas III a V encontrará el lector diversas figuras para cada una de estas subespecies.

El grupo de *Globotruncana Linnei* d'Orb. o *Globotr. area* Cushman., pertenece todo él a formaciones turonenses, pues hasta el presente no se ha obtenido ninguna de estas formas en el Cenomanense. Derivan seguramente de alguna modificación habida en las anteriores, aunque hasta ahora no parece claro su origen. Una primera subespecie precursora de ellas es la *Globotr. Lapparenti inflata* Bolli, aparecida en la base del Turonense, pero extinguiéndose con rapidez. Las cámaras correspondientes a su últi-

	RENZ 1936			MARIE 1938						TSCHACHTLI 1939			GANDOLPI 1942		
	<i>G. appenninica</i>	<i>G. linnei</i>	<i>G. stuarti</i>	<i>R. linnei</i> en couronne de feuilles	<i>R. linnei</i>	<i>R. var. à loges globuleuses</i>	<i>pré-R. stuarti</i>	<i>R. linnei</i> mut. calciforme	<i>R. stuarti</i>	<i>G. appenninica</i>	<i>G. linnei</i>	<i>G. stuarti</i>	<i>G. ticinensis</i>	<i>G. appenninica</i>	<i>G. renzi</i>
DANIENSE															
MAESTRICHTIENSE															
CAMPANIENSE															
CONIACIENSE				?											
TURONENSE															
CENOMANENSE															
ALBENSE															

Fig. 8

ma porción espiral son esferoidales, sin quilla de ninguna clase sobre ellas; en cambio, las del lado opuesto, poseen una quilla gruesa y ancha (lám. III, figura 22, es un ejemplar muy típico). En la base del Turonense de Mallorca es más bien una subespecie rara, habiéndola visto en contadas preparaciones.

A esta subespecie, ya claramente Turonense, como llevo dicho, la siguen otras cuya longevidad es muy

grande, pues perduran algunas de ellas hasta la base (*G. Lapparenti Lapparenti*) o en el mismo Maestrichtiense (*G. Lapparenti tricarinata*). La forma ancestral de todas ellas parece debió ser ésta, la *G. Lapparenti inflata*, de la cual derivan debido a una serie de rápidas mutaciones que las transformaron rápidamente en *G. Lapparenti Lapparenti* Bolli, *G. Lapparenti bulloides* Vogler, *G. Lapparenti tricarinata* Quer. y *G. Lapparenti coronata* Bolli. La distribución vertical de todas ellas podemos verla en el cuadro estratigráfico publicado por Bolli en su trabajo de 1944 (figura 9).

Este grupo de subespecies, cuyas sinecias resultan muy interesantes para el geólogo que quiera distinguir, dentro de un complejo calizo-margoso, los diversos términos del Senoniense, por ejemplo, muestran los siguientes caracteres, basándose, sobre todo, en los que ofrecen sus caparazones, vistos en secciones delgadas de rocas, transversales a sus conchas.

G. Lapp. Lapparenti Bolli, posee dos quillas exteriores laterales, pero sus cámaras en el lado dorsal dirigen hacia el centro o región «umbilical» de una manera suave, casi horizontal, sin tendencia alguna a marcar una nueva quilla en esa porción de la concha. *G. Lapp. bulloides* Vogler, con cámaras hinchadas y dos quillas laterales con reborde agudo. Abunda en el Turonense-Coniaciense, desapareciendo durante el transcurso del Santoniense. *Globotr. Linnei globigerinoides* Bretzen, es muy semejante a la anterior, pero sus últimas cámaras son aún más globulosas y altas, provistas también de una quilla más estrecha. Parece limitada al Turonense superior, extinguiéndose con el Coniaciense. *Globotr. Lapparenti tricarinata* Quereau, es fácil de distinguir por su caparazón aplanado, cámaras anchas, con dos quillas laterales bien marcadas y otra

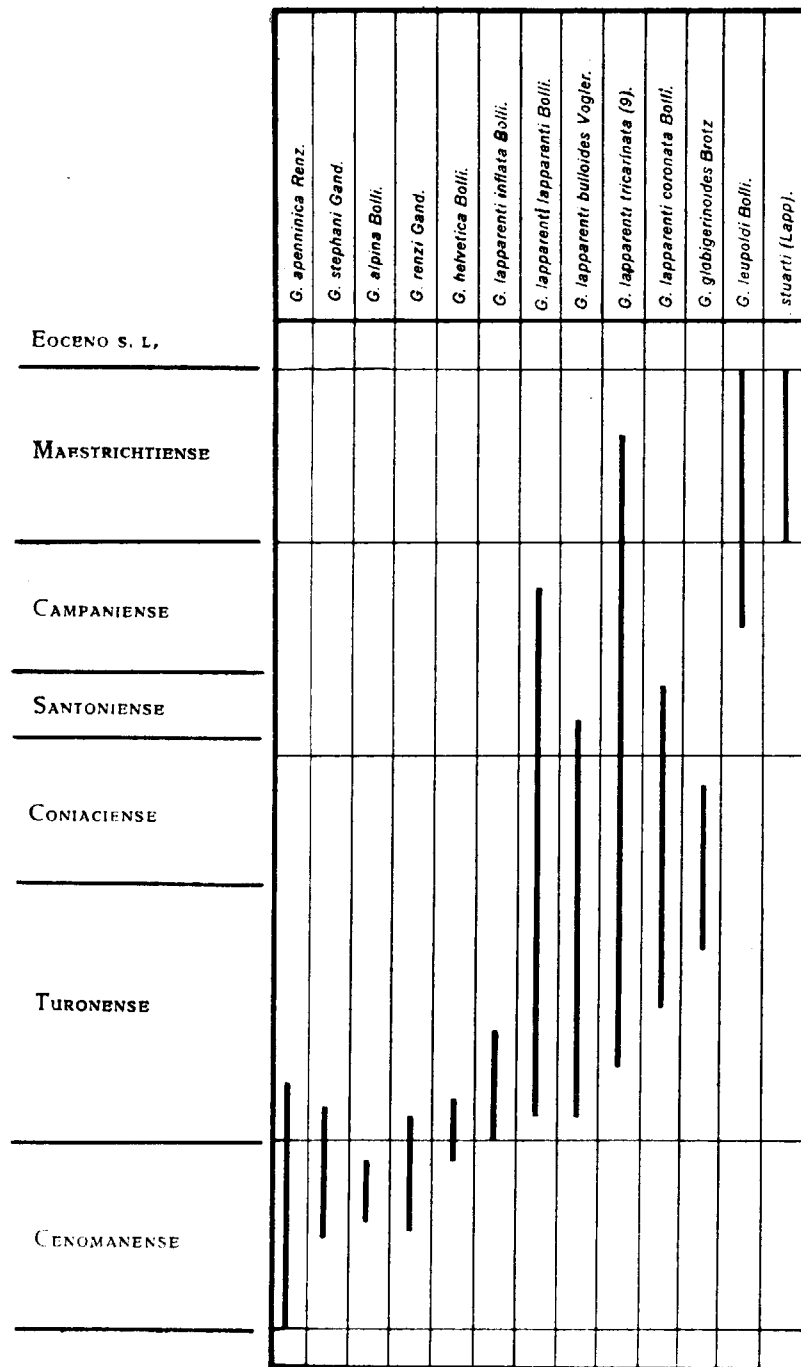


Fig. 9

inferior ventral, muy aguda también. Dentro del Cretáceo superior tiene esta subespecie una amplia dispersión vertical, pues no se extingue hasta el Maestrichtiense medio.

La última forma del grupo *Lapparenti* es la *Globotr. Lapparenti coronata* Bolli, subespecie fácil de distinguir en secciones transversales por sus caparazones aplanados y sus anchas cámaras cuadrangulares, cuyo extremo externo está ocupado por un ancho reborde aquillado. Parecen existir formas de tránsito entre ella y la *G. Lapp. tricarinata*. Es propia del Turonense, en el cual hállase muy difundida, y del Coniaciense inferior, donde desaparece.

Globotr. Linnei Leupoldi Bolli, pertenece ya al grupo desarrollado en los niveles más altos del Cretáceo superior. Es una forma grande, con las primeras cámaras de su última porción espiral desenvuelta, provista de tres quillas o rebordes laterales, como en *G. Lapp. tricarinata* Quer., pero en las últimas muestra un solo reborde lateral agudo y saliente, o también desprovisto de él. No la he observado hasta el presente en España, lo mismo que *Globotr. Linnei pendens* Vogler, probablemente debido a que las muestras por mí examinadas pertenecen casi todas a los pisos del Senonense, *Globotruncana Linnei Leupoldi* aparece durante el Campaniense y perdura hasta el fin del Maestrichtiense.

Globotr. Linnei caliciformis Lapp., es bastante frecuente ya en el Campaniense. Es fácil de distinguir, como su nombre indica, por su forma de cáliz o copa, con cámaras altas, estando representada en los niveles españoles por conchas de tamaño mayor al normal.

Parece una mutación de la anterior, la *G. L. Leupoldi*, perdurando hasta la base del Daniense.

Globotr. Linnei Stuarti Lapp., representa la forma típica de los niveles maestrichtienses, pues aparece bruscamente

en la base de este piso y perdura hasta la base del Daniense. Su concha es casi biconvexa, con una sola quilla lateral (lám. II, figs. de la forma típica de Lapparent) y cámaras numerosas, agudas hacia la periferia, recordando las de la forma primitiva, la *G. apenninica*. En las formaciones pelágicas de este período de nuestra patria, es frecuente, sobre todo en los niveles de calizas-margosas rojizas, «couches-



Fig. 10.—*Globotruncana Linnei Stuarti* Lapp.

Maestrichtiense del Marruecos francés. Zona atlántica. Colección Lizáur. Instituto Geológico y Minero de España. $\times 45$.

rouges» de los Alpes, etc., verdes o blancas del Maestrichtiense, donde alcanza un tamaño más grande que el regular o corriente en otras localidades. Es un buen fósil de nivel, pues aparece muy localizado hasta el presente en el piso antes mencionado.

El estudio de todas estas formas que acabo de describir, procedentes de los pisos cretáceos de España, revelan la misma distribución vertical que la ofrecida en otras localidades, principalmente a lo largo de las formaciones alpinas o sus dependencias inmediatas. Compárense los dos cuadros estratigráficos que tomo de Bolli (figs. 8 y 9) en los cuales estas *Globotruncanas* han sido estudiadas desde el punto de vista de su distribución vertical por diversos autores, con los que he podido reunir muy fragmentaria-

mente aún, según los datos de que dispongo sacados de materiales españoles del Sur de España (prov. de Murcia), numerosas localidades de la provincia de Alicante, más los de Baleares, principalmente Mallorca, y los de la región de San Sebastián.

En fin, y al terminar ya esta nota, debo manifestar, para evitar equívocos, que la *Globotruncana arca* Cushman (= *G. Linnei* d'Orb.), ha sido mencionada, a veces, como recogida en los sedimentos de los mares actuales. La localidad típica de esta especie es precisamente la dada por d'Orbigny en su obra sobre los foraminíferos de la isla de Cuba, asignándole las playas de esta isla. Pero actualmente se sabe que en este caso y en otros semejantes, lo mismo que la cita de Linnei en formaciones margosas eocenas, por ejemplo, es debido simplemente a ser entonces estos foraminíferos fósiles rodados en tales formaciones, sean actuales o terciarias. Los ejemplares recogidos *in situ* provienen siempre de los lechos cretáceos.

En secciones delgadas no todos los ejemplares que aparecen incluidos en el cemento de la roca resultan clasificables, todo al contrario, muchos de ellos deben de ser desechados. Pues apareciendo seccionados sin orden alguno, al azar del corte en el momento de tallar la preparación, una gran proporción quedan mal orientados respecto al eje vertical de su caparazón, siempre el más importante para una determinación específica segura. Por tal motivo el micropaleontólogo se ve obligado a dejar un gran número de esos cortes, debido simplemente a su mala posición y evitando de ese modo falsas determinaciones. Pero en los sedimentos ricos en *Globotruncanas*, raro será que en toda sección no puedan obtenerse varios de ellos en buenas condiciones de orientación para poder reconocer con certeza varias de estas subespecies, según los niveles que

estudiemos. Por tal motivo y procurando ilustrar este trabajo con diversas figuras para cada uno de los diferentes tipos, vistas no siempre siguiendo a una rigurosa sección transversal, esperando ilustrarán al lector mejor que con largas descripciones y procurándole un conocimiento más preciso de estos foraminíferos.

De las Globotruncanas hemos seguido el hilo de su existencia en un grupo más bien reducido de las mismas y a través de un *lapsus* de tiempo enorme: el que comprende toda la duración del Cretáceo superior. Hemos visto sus ligeras variaciones de forma impresas sobre sus caparazones, sensibles, ciertamente también, a las vicisitudes que causas intrínsecas, o bien atribuibles al medio marino en que vivieron, influyeron sobre estos sencillos y diminutos seres, aunque se tratara de un régimen como el pelágico, excesivamente monótono. No obstante, algo fué modificándose constantemente a lo largo de sus vidas, en esas enormes poblaciones planctónicas, cuya existencia más o menos larga, o más o menos breve, o simplemente desigual entre ellas mismas, iban dejando en el tiempo, que fluía incesantemente con sus apariciones y extinciones, ligeros jalones cronológicos que el geólogo utiliza en la actualidad.

Ello nos lleva a pensar y tal vez a creer con Radl, que «una especie consiste en una corriente de formas análogas que siguen un rumbo paralelo en la evolución.» («Historia de las Teorías Biológicas»).

BIBLIOGRAFIA

La Bibliografía contiene únicamente una referencia relacionada con la micropaleontología y estratigrafía de las Globotruncanas aquí estudiadas. A quien interese una mayor documentación sobre el empleo de los microforaminíferos en correlaciones estratigráficas, consulte mi libro sobre «Microforaminíferos fósiles» (C. S. I. C., 1946).

- ARNI (P.): «Foraminiferen des Senons und Untereocäns im Prättigauflisch». - *Beitr. z. Geol. Karte d. Schweiz.*, N. F. 1933.
- BEISSEL (L.): «Die Foraminiferen der Aachener Kreide». - *Abh. d. Königl. Preuss. Landensanstalt*, N. F. Heft. 3. 1891.
- BROTZEN (F.): «Foraminiferen aus dem schwedischen untersten Senon von Eriksdal in Schonen». - *Sveriges Geol. Undersökning*, ser. C. N. 396, Arsbok 30, n. 3. 1936.
- CARMAN (K.): «Some Foraminifera from the Niobrara and Benton formation of Wyoming». - *Journ. Paleont.*, vol. 3. 1929.
- CUSHMAN (J. A.): «The Foraminifera of the Velasco shale of the Tampico embayment». *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, vol. 10, pt. 1. 1926.

- CUSHMAN (J. A.): «Some Foraminifera from the Mendez shale of Eastern Mexico». — *Contr. Cush. Lab. Foram. Res.*, vol. 2. 1926.
- CUSHMAN (J. A.) y JARWIS (P.): «Upper Cretaceous Foraminifera from Trinidad». — *Proceed, U. S. Nat. Mus.*, vol. 80. 1932.
- CUSHMAN (J. A.): «The Foraminifera of the Annona chalk». — *Journ. Paleont.*, vol. 6. 1932.
- EGGER (J.): «Foraminiferen und Ostracoden aus den Kreidenmergeln der oberbayerischen Alpen». — *Abh., d. K. Bayer. Akad., d. Wiss.*, 2 Cl., 21 Bd. 1. Abt. 1899.
- FRANKE (A.): «Die Foraminiferen der Oberen Kreide Nord- und Mitteldeutschlands». — *Abh. d. Preuss. Geol. Landesanstalt*, N. F. Heft. 111. 1928.
- GALLOWAY (J. J.) y MORREY (M.): «Late Cretaceous Foraminifera from Tabasco, Mexico». — *Journ. Paleont.*, vol. 5, n. 4. 1931.
- GANDOLFI (R.): «Ricerche micropaleontologiche e stratigrafiche sulla Scaglia e sul Flysch cretacicci dei dintorni di Balerna (Canton Ticino)». — *Riv. Ital. di Paleont.*, vol. 48. 1942.
- HBIM (A.): «Sur les zones paléontologiques et lithologiques du Crétacé moyen dans les Alpes Suisses». — *Bull. Soc. Géol. France.*, 4.^{me} Sér., t. 9. 1909.
- JBANNET (A.): «Le Crétacé supérieur de la région du Drusberg». — *Ct. de Schwyz. Eclog. Geol. Helv.*, vol. 18. 1923.
- KISKYRAS (D.): «Über ein Oberkreide-Vorkommen mit Globotruncana in Nauplion. Argolis (Griechenland)». — *Zentralbl. f. Mineralogie*, etc., Abt. B. 1941.
- KRAUS (E.): «Der nordalpine Kreideflysch. Geologische

- Forschungen im Allgäu und im Vorarlberg». — *Geol. Pal. Abh.*, N. F. Bd. 19, Heft. 2. 1932.
- LAPPARENT (J.): «Étude lithologique des terrains crétacés de la région d'Hendaye». — *Mem. Carte Géol. France*. 1918.
- «Les formations bréchiqes entre les villages de Salles et de Sère-Argelès et au Nord du village de Boô (H.-Pyrénées)». — *Bull. Soc. Géol. France*, Tom. 29, 4.^{me} Sér. 1919.
- «Development des calcaires a Rosalines en Grece». — *C. R. Sean., Acad. Scien. Paris*, Tom. 198. 1934.
- LEUPOLD (W.): «Neue mikropaläontologische Daten zur Altersfrage der alpinen Flyschbildungen». — *Eclog. Geol. Helv.*, Tom. 26. 1933.
- MARIE (P.): «Sur la présence du genre Rosalina dans la craie du bassin de Paris». — *C. R. Somm. Soc. Géol. France*, Fasc. 1. 1936.
- «Deux niveaux distingués a l'aide des Foraminifères dans le Maestrichtien du bassin de Paris». — *Bulletin Soc. Géol. France*, 5.^{me} Sér., 1937.
- «Zones à Foraminifères de l'Aturien dans la Mésogée». — *C. R. Somm. Soc. Géologique France*. 1938.
- «Les Foraminifères de la craie a B. mucronata du bassin de Paris». — *Mem. Mus. Hist. Nat. Paris*, Vol. 12, Fasc. 1. 1941.
- MORET (L.): «A propos de la signification stratigraphique des Rosalines». — *C. R. Somm. Soc. Géol. France*, Fasc. 1. 1930.
- D'ORBIGNY: «Hist. Fis. Pol. Nat., de Cuba». — *Foraminiferos*, Ed. esp. 1940.

- PAREJAS (E.): «Sur la présence de R. Linnei d'Orb. et R. Stuarti Lapp., dans le Crétacé supérieur de Piatigorsk. (Caucase)». — *C. R. Soc. Phys. Hist. Nat.*, Genève, Vol. 43, N. 2. 1926.
- PLUMMER (H. J.): «Foraminifera of the Midway formation in Texas». — *Univ. of Texas*, Bull. n. 2.644. 1926.
- «Some Cretaceous Foraminifera in Texas». — *Univ. of Texas*, Bull. n. 3.101. 1931.
- QUERBAU (E. C.): «Die Klippenregion von Iborg (Sihltal)». *Beitr. z. Geol. Karte d. Schweiz*, 33. Lief., 1936.
- REBZ (O.): «Stratigraphische und mikropaläontologische Untersuchung der Scaglia (Obere Kreide-Tertiär) im zentralen Apennin». — *Eclog. Geol. Helv.*, vol. 29. 1936.
- «Über Aufarbeitung von Foraminiferen im Jungtertiär östlich des Trasimenischen Sees (Umbrien)». — *Eclog. Geol. Helv.*, vol. 29. 1936.
- «Über Globotruncanen im Cenomanien des Schweizerjura». — *Eclog. Geol. Helv.*, vol. 29. 1936.
- «Über ein Maestrichtien-Cenomanien-Vorkommen bei Alfermee am Bielersee». — *Eclog. Geol. Helv.*, vol. 29. 1936.
- TAN SIN HOK: «Vindplaatsen von Globotruncana Cushman in West-Borneo». — *Natuurk. Tijdschrift le Afl. van Deel*. 96.
- THALMANN (H.): «Validite du nom generique *Globotruncana* Cushman, 1927». — *C. R. Somm. Soc. Géol. France*, Fasc. 1. 1933.
- «Regional distribution of the genus *Globotruncana* Cushman, 1927, in upper cretaceous sediments». — *Proceed. Geol. Soc. of America*. 1933-34.

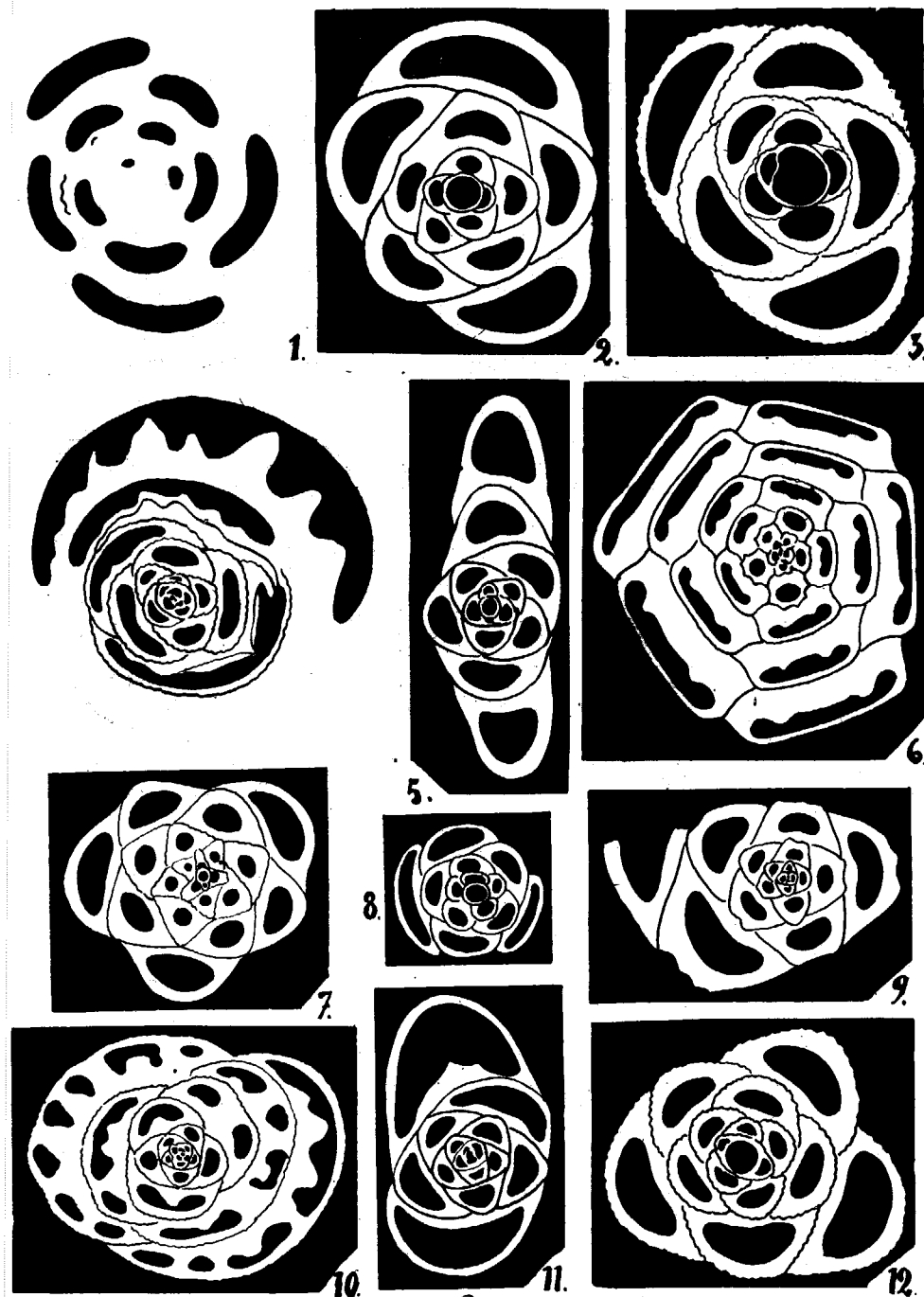
- THALMANN (H.): «Über geographische Rassenkreise bei fossilen Foraminiferen». — *Palaont. Zeitschr.*, Bd. 16. 1934.
- «Die regional-stratigraphische Verbreitung der oberkretazischen Foraminiferen-Gattung *Globotruncana* Cushman, 1927». — *Eclog. Geol. Helv.*, vol. 27. 1934.
- TSCHACHTLI (B. S.): «Über Flysch und couches-rouges in dem Decken der östlichen Prealpes romandes (Simmental-Saanen)». — *Diss. Sern.*, 1941.
- VIENNOT (P.): «Sur la valeur estratigraphique des Rosalines». — *C. R. Somm. Soc. Géol. France*, Fas. 1. 1930.
- «Considerations nouvelles sur la valeur stratigraphique des Rosalines». — *C. R. Somm. Soc. Géol. France*, Fasc. 1. 1930.
- VOGLER (J.): «Beiträge sur Geologie von Niederländisch-Indien. Ober-Jura und Kreide von Misol». — *Paläontographica.*, Suppl. Bd. 4. 1941.
- WEDEKIND (R.): «Die Foraminiferangliederung der oberen Kreide Westfalens». — *Zentralbl. f. Mineralogie*, etc., Abt. B. 1938.
- WHITE (M. P.): «Some indez Foraminifera of the Tampico Embayment area of Mexico». — *Journ. Paleont.*, pt. I y II, vol. 2 y 3. 1928-29.

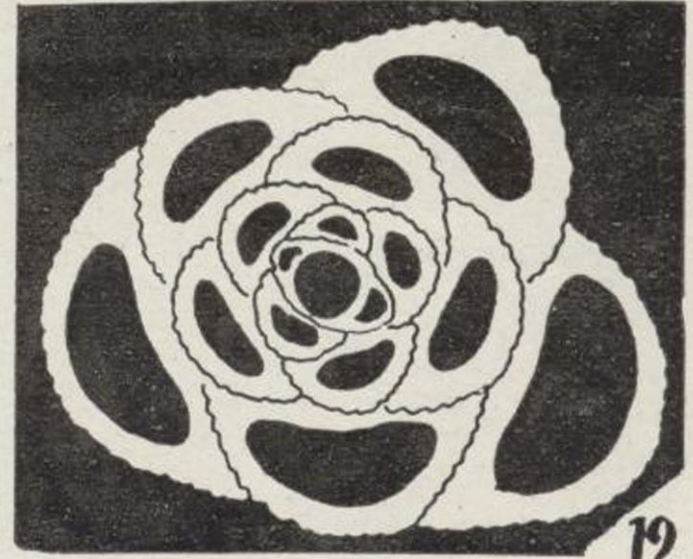
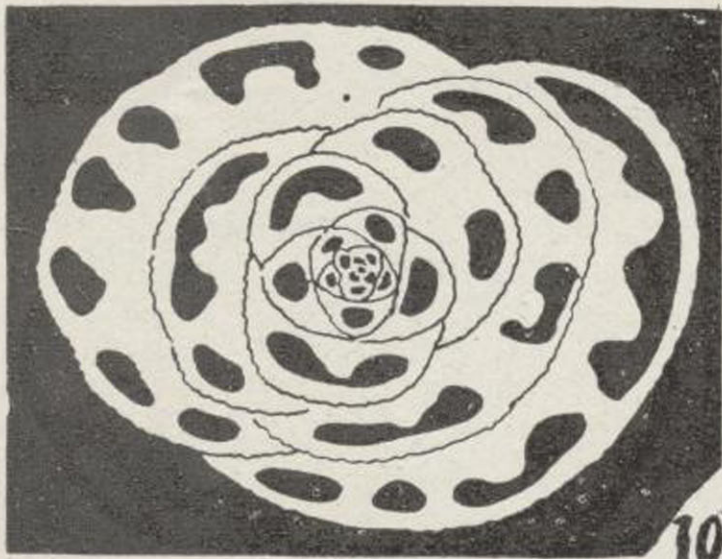
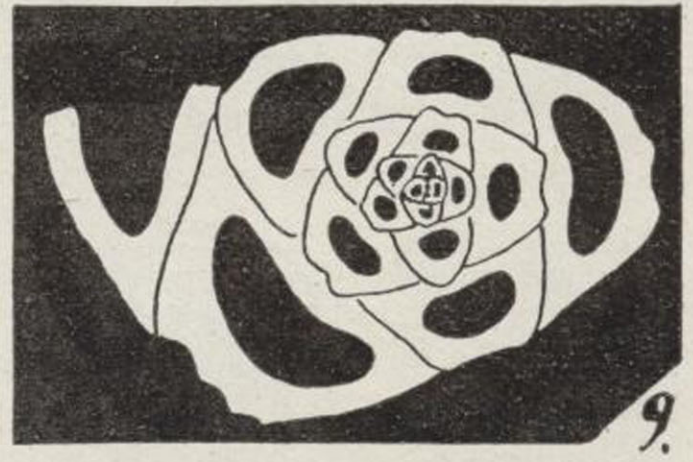
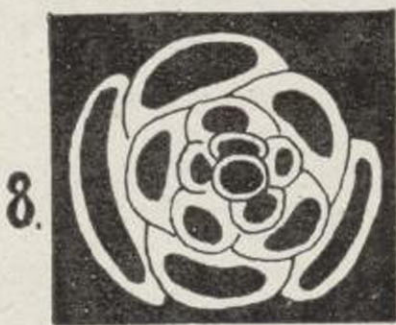
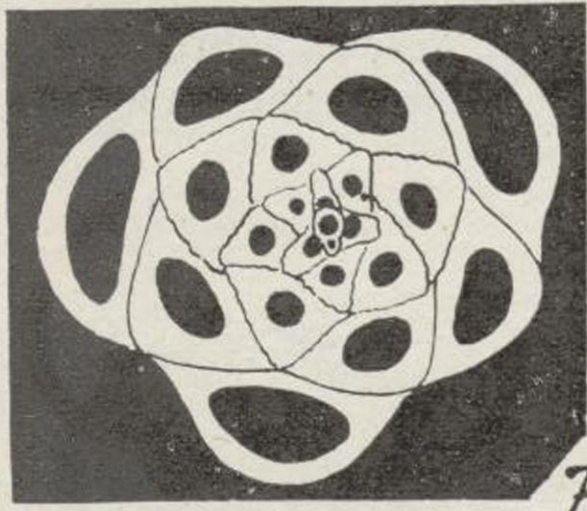
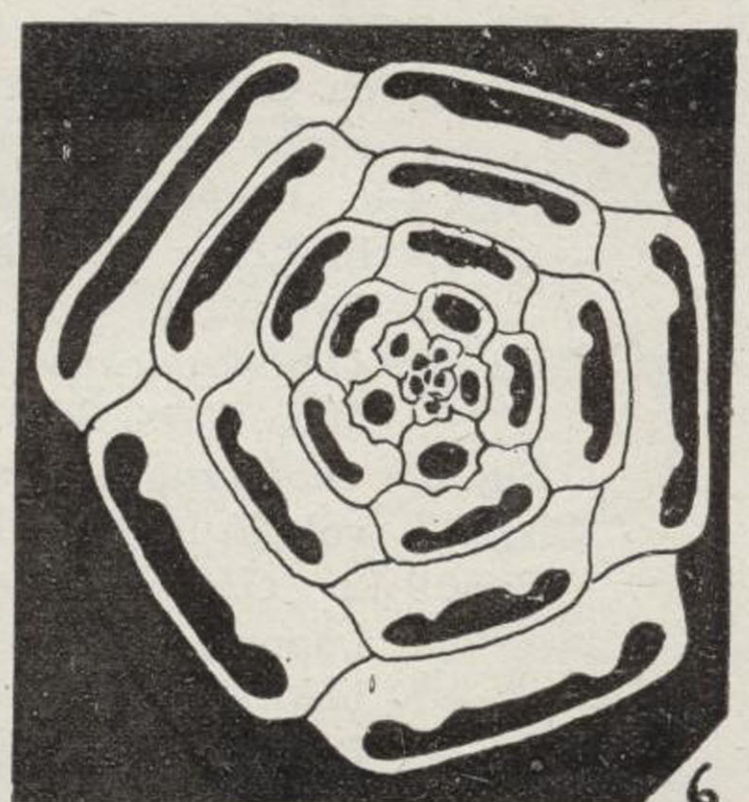
LAMINAS

EXPLICACION LAMINA I

- Figs. 1-2.—*Miliola Chalmasi* Schlumb.; núm. 1, forma B; núm. 2, forma A, × 47.
 Figs. 3, 4 y 10.—*Periloculina Raincourtii* Schlumb.; núm. 3, forma A, × 42; núm. 4, forma B; núm. 10, forma B, × 47.
 Fig. 5.—*Heterellina Guespellensis* Schlumb.; forma A, × 85.
 Figs. 6 y 12.—*Miliola saxorum* Lamk.; núm. 6, forma B, × 35; número 12, forma A, × 100.
 Fig. 7. *Miliola Douvillei* Schlumb.; forma A, × 100.
 Fig. 8. — *Heberti* Schlumb.; forma A, × 28.
 Fig. 9. — *Chalmasi* Schlumb.; forma B, × 47.
 Fig. 11. — *strigillata* d'Orb.; forma B, × 47.

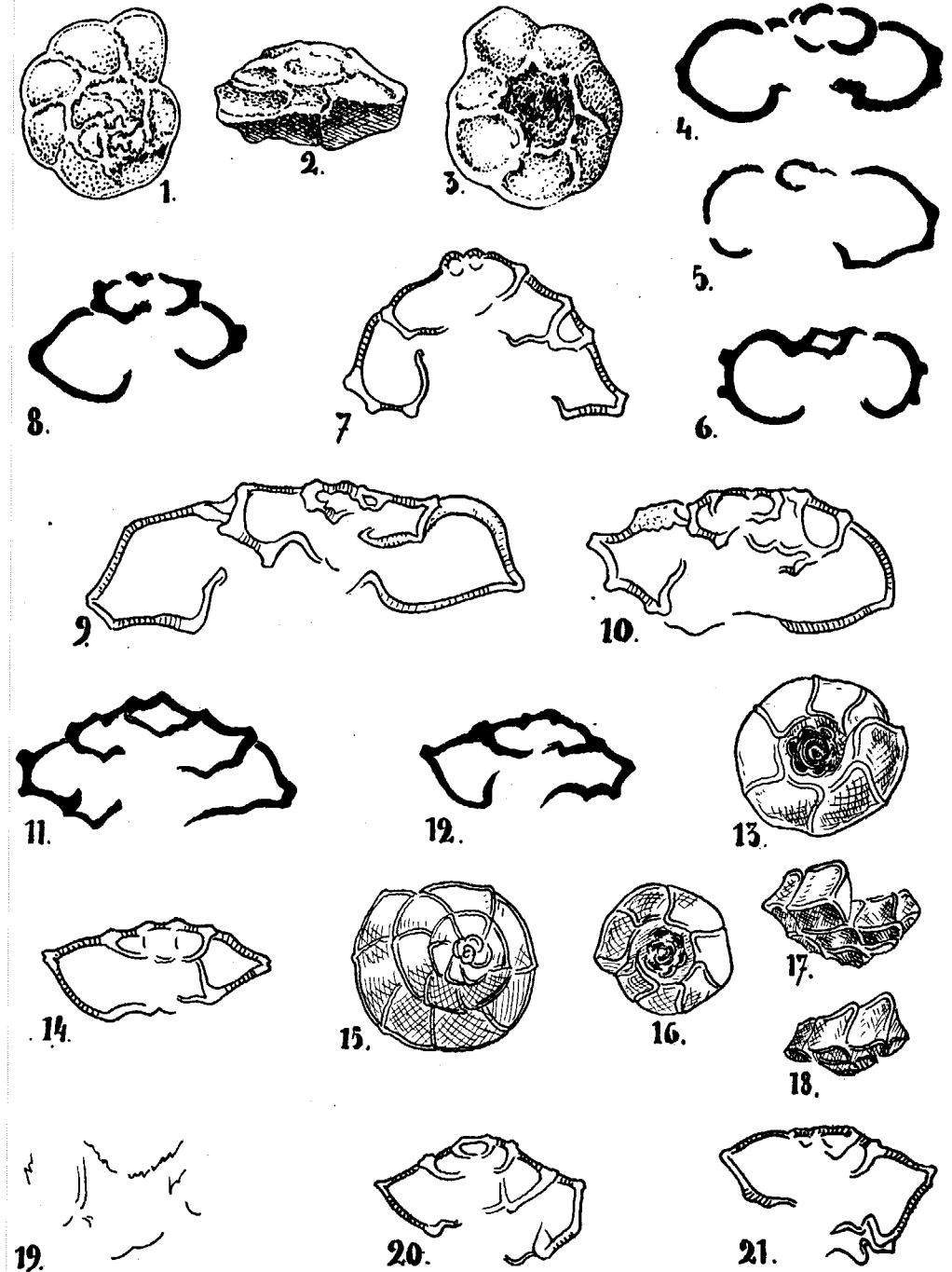
Figuras tomadas de Schlumberger. Bull. Soc. Géol. France, 4^{me}. Série. Tom. 5^{me}, p. 115. 1905.

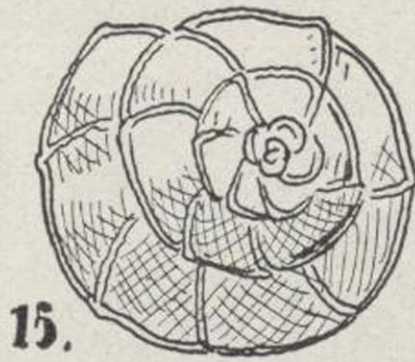
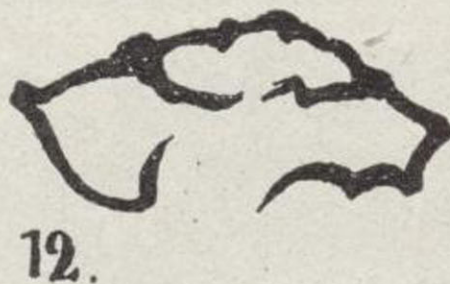
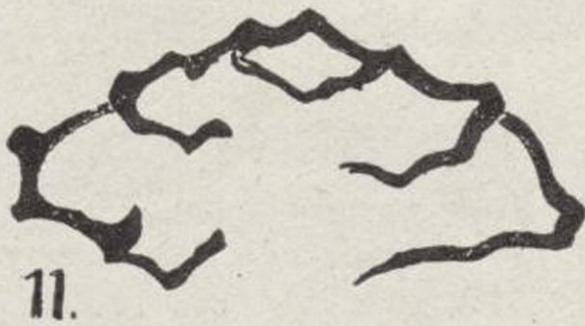
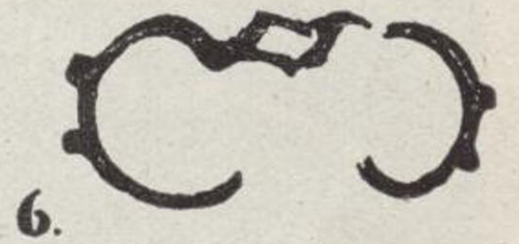
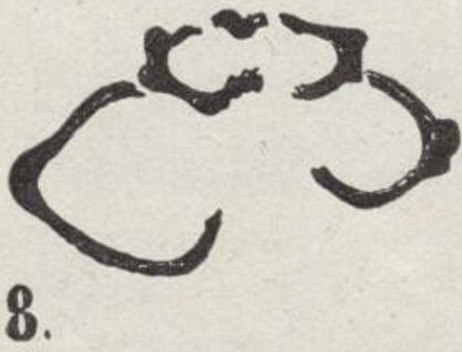
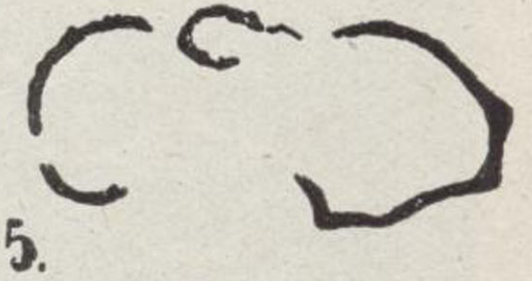
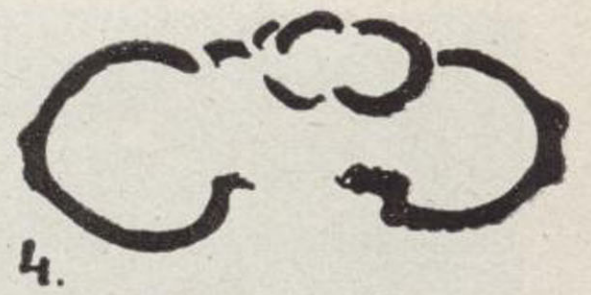
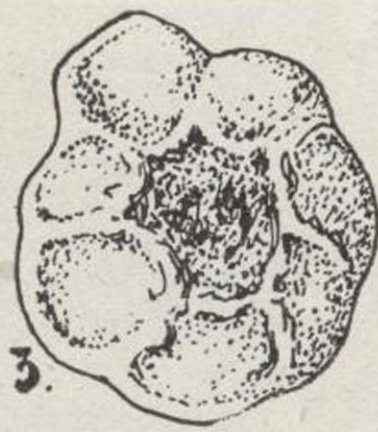
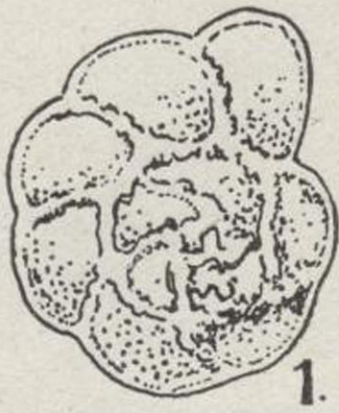




EXPLICACION LAMINA II

- Figs. 1-3. - *Globotruncana arca* Cushman. (según Cushman, figura típica. Contr. Cushman. Lab. Foramin. Res., vol. 2, 1925, p. 23, figuras 1 a-c).
- Figs. 4-6. - *Globotruncana Linnei globigerinoides* Brotzen (según Bolli, Eclog. Geol. Helv., vol. 37, fig. 1, núms. 23-24, y lám. IX, figura 16).
- Fig. 7. - *Globotruncana Linnei caliciformis* Lapp. (según Lapparent. Mem. Carte Géol. France, fig. 2, texto, j. 1916).
- Fig. 8. - *Globotruncana Renzi* Gand. (según Bolli, Eclog. Geol. Helv., vol. 37, lám. IX, fig. 5).
- Figs. 9-12. - *Globotruncana Linnei Leupoldi* Bolli (núm. 9-10, según Lapparent in: Mem. Carte Géol. France. 1916, fig. 2 texto, bajo el nombre de *Rosalina Linnei*, números 11-12, según Bolli, loc. cit., fig. 1, núm 25-26).
- Figs. 13-21. - *Globotruncana Linnei Stuarti* Lapp. (núms. 13, 15-18, figs. típicas de Lapparent in: Mem. Carte Géol. France, sobre ejemplares aislados. Núms. 14, 19-21, secciones de la misma figura de Lapparent).

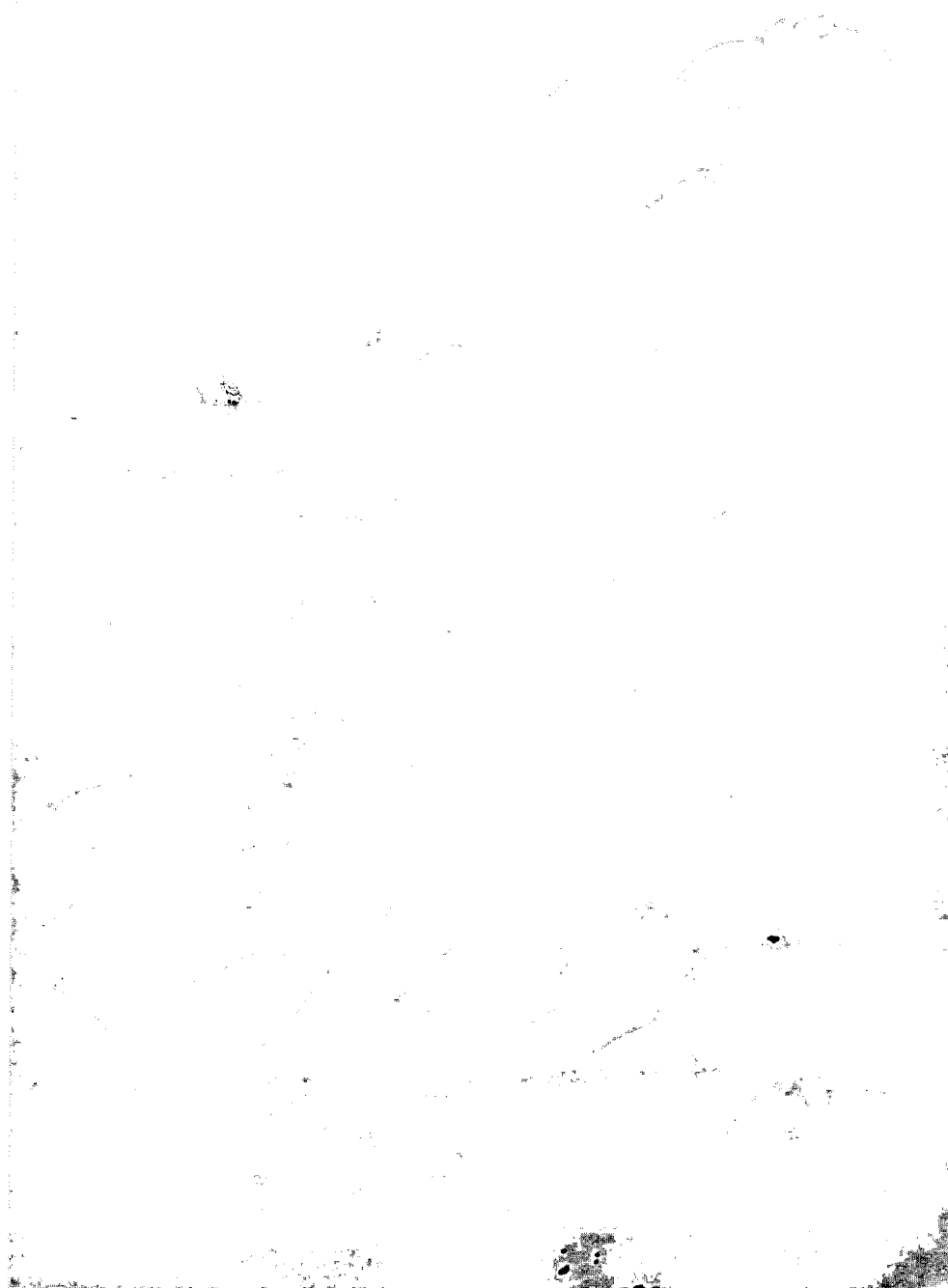


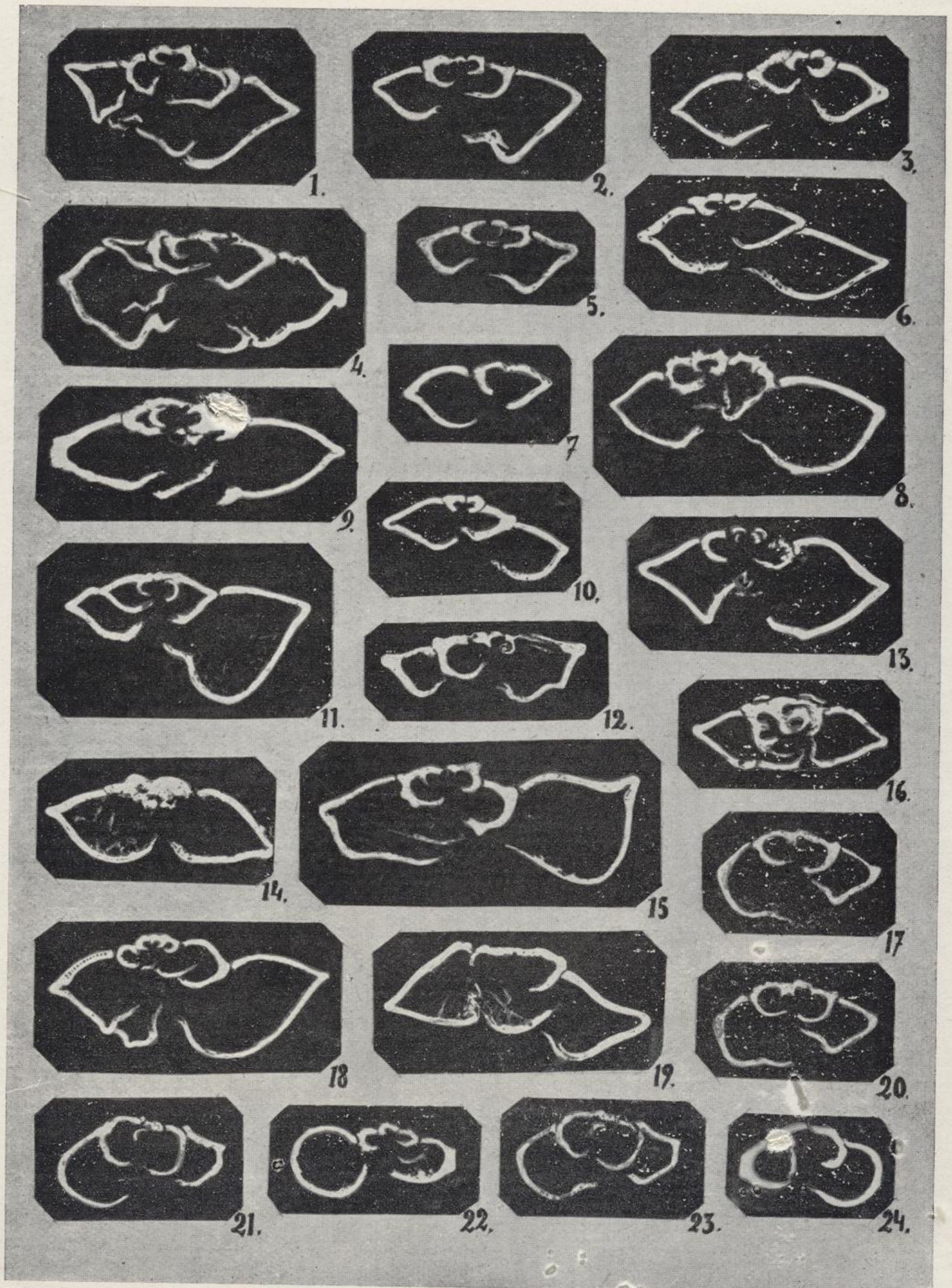


EXPLICACION LAMINA III

Figs. 1-16 y 18-19.—*Globotruncana apenninica* Renz; de los niveles altos del Albense o del Cenomanense de Mallorca.

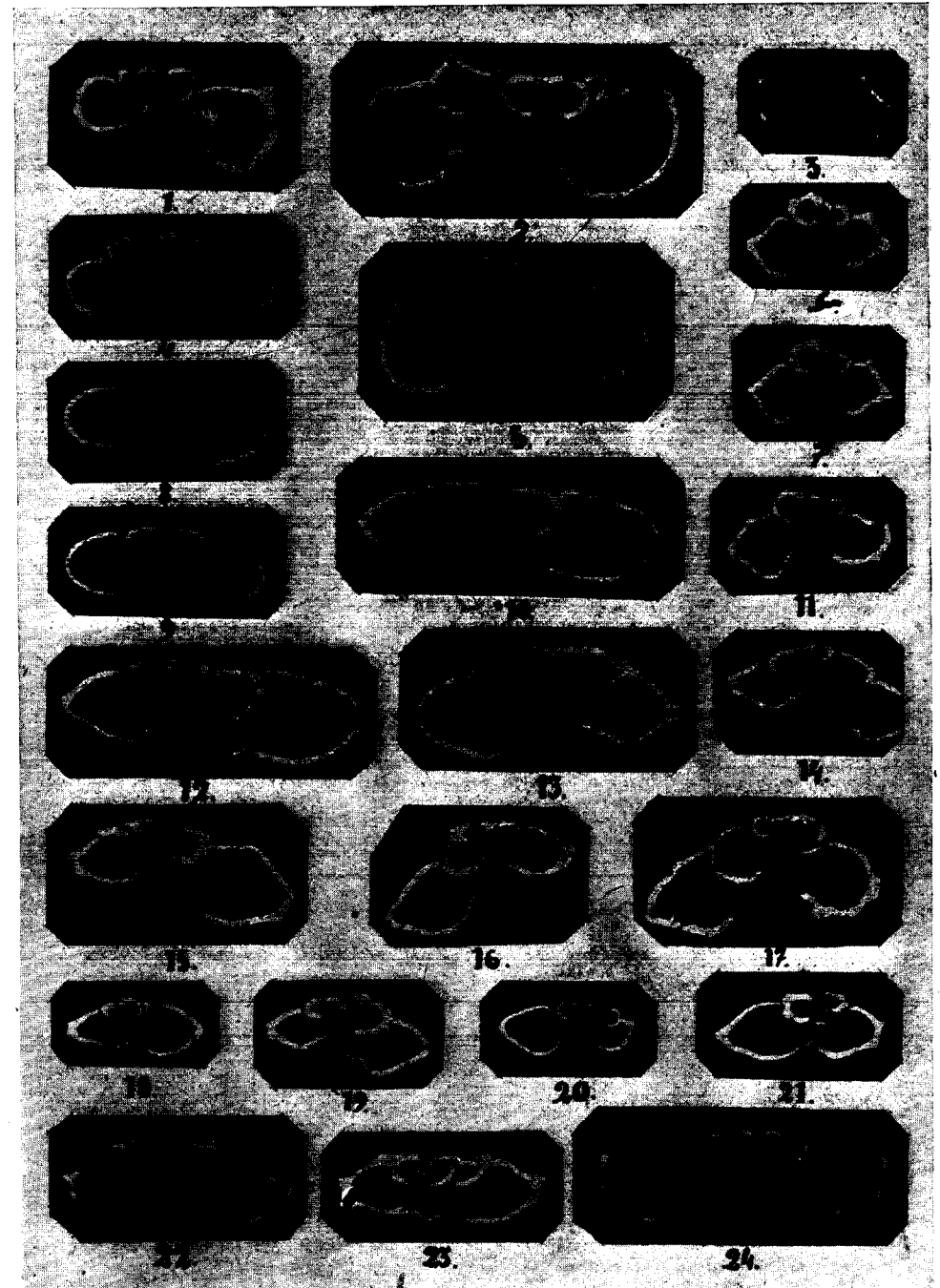
Figs. 17 y 20-24. *Globotruncana Lapparenti inflata* Bolli; del Turonense de Mallorca.

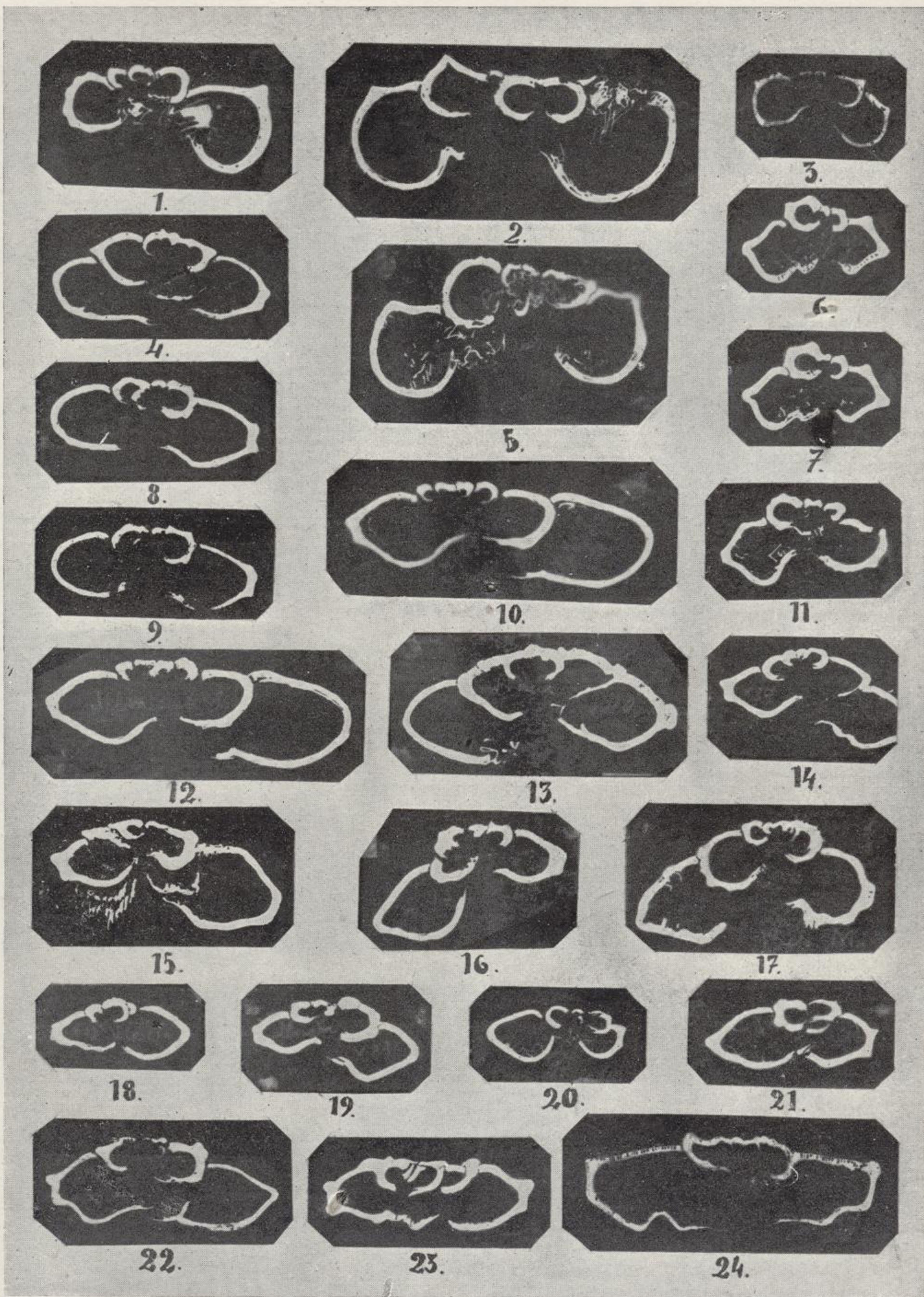




EXPLICACION LAMINA IV

- Figs. 1-3 y 5.—*Globotruncana helvetica* Bolli; del Turonense de Mallorca y de Ibiza.
- Figs. 14-22.—*Globotruncana Renzi* Gand.; del Cenomanense de Mallorca.
- Figs. 6, 7 y 11.—*Globotruncana alpina* Bolli; del Cenomanense de Mallorca.
- Figs. 4, 8-10, 12 y 13.—*Globotruncana Stephani* Gand.; del Cenomanense de Mallorca.
- Figs. 23 y 24.—*Globotruncana Lapparenti Lapparenti* Bolli; del Turonense de Mallorca.

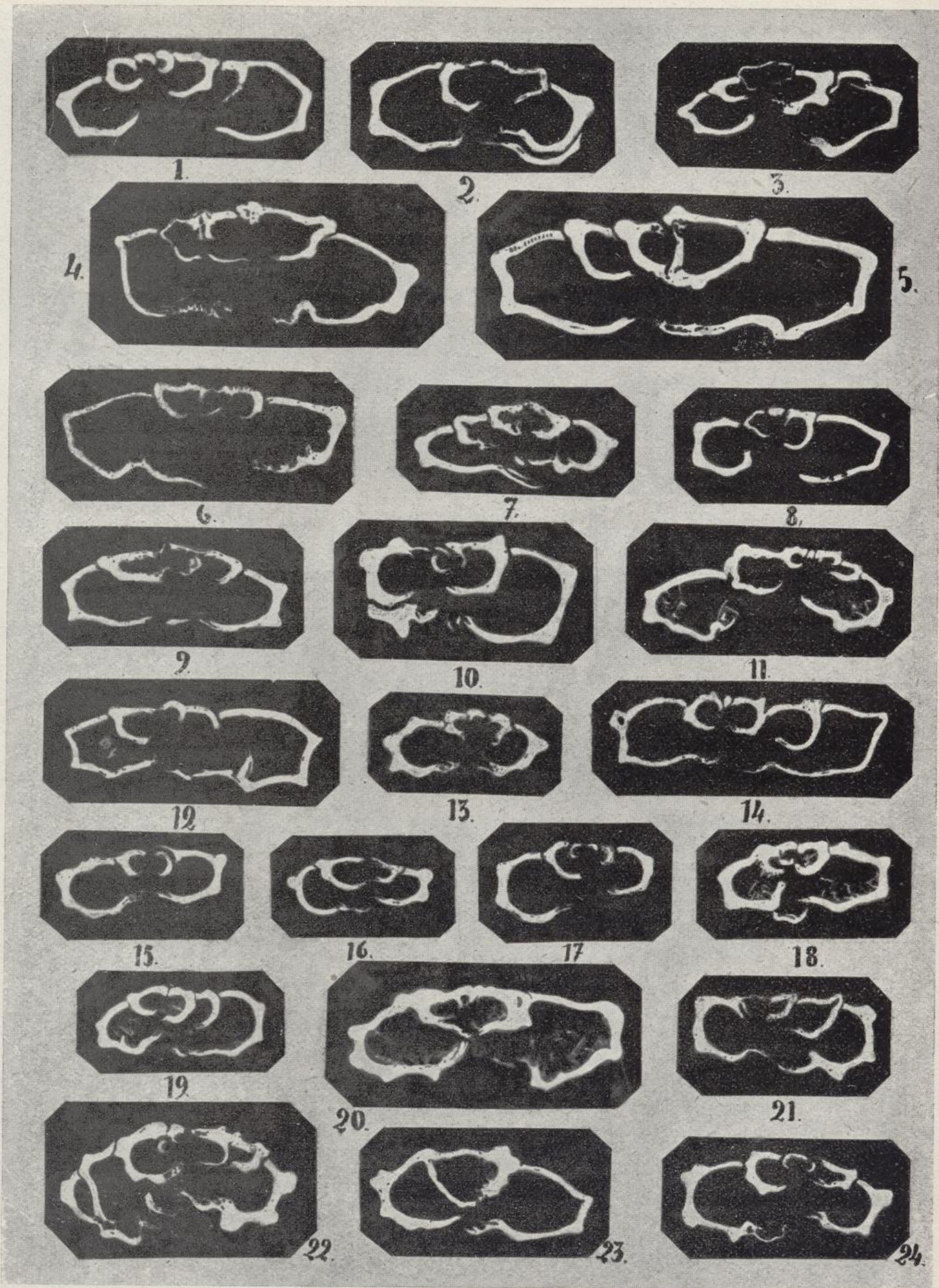




EXPLICACION LAMINA V

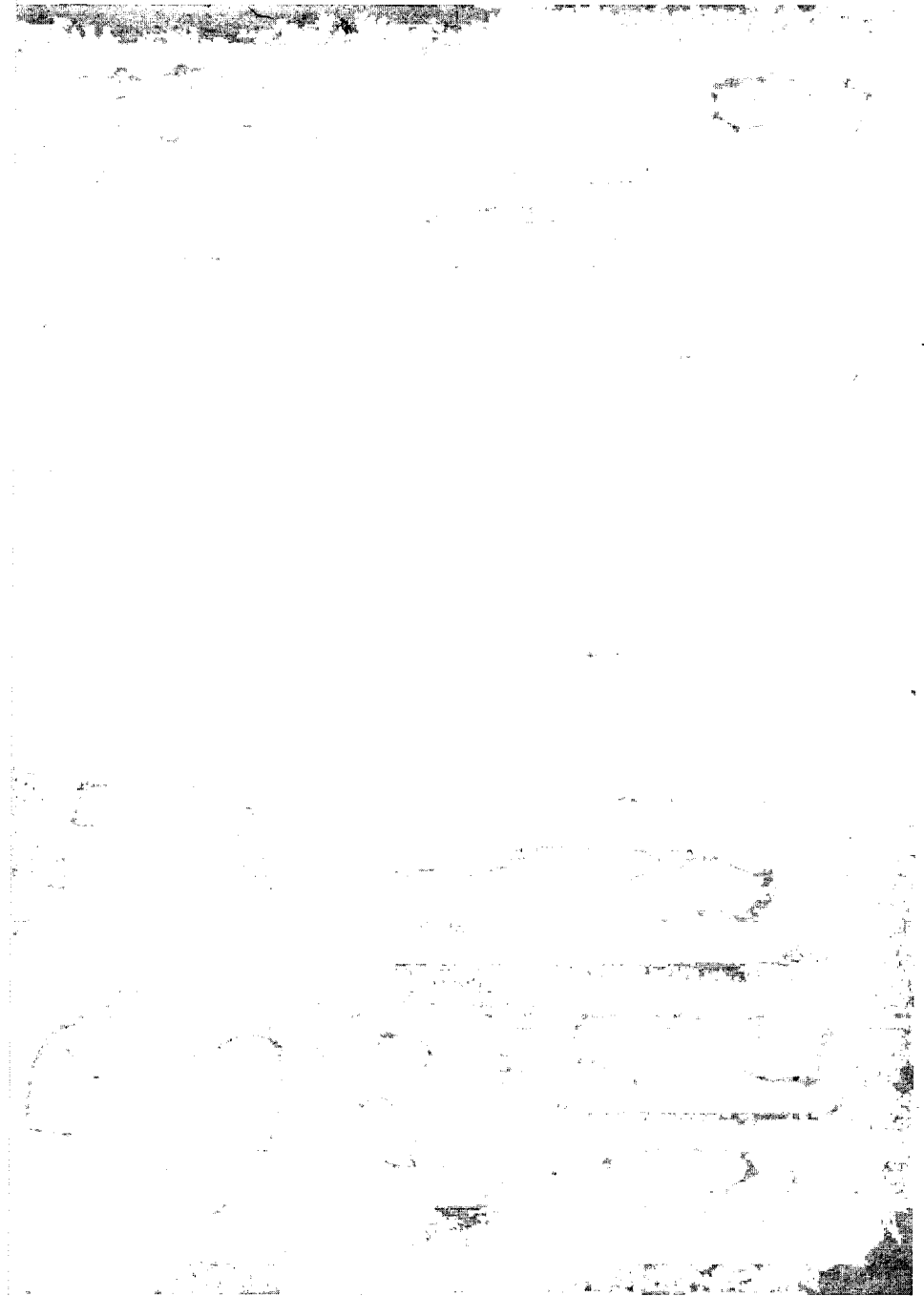
Figs. 1-9 y 23.—*Globotruncana Lapparenti Lapparenti* Bolli; del Turonense de Mallorca y región de San Sebastián.
 Figs. 10-22 y 24.—*Globotruncana Lapparenti tricarinata* Quéreau; del Turonense de Mallorca y de la región de San Sebastián.

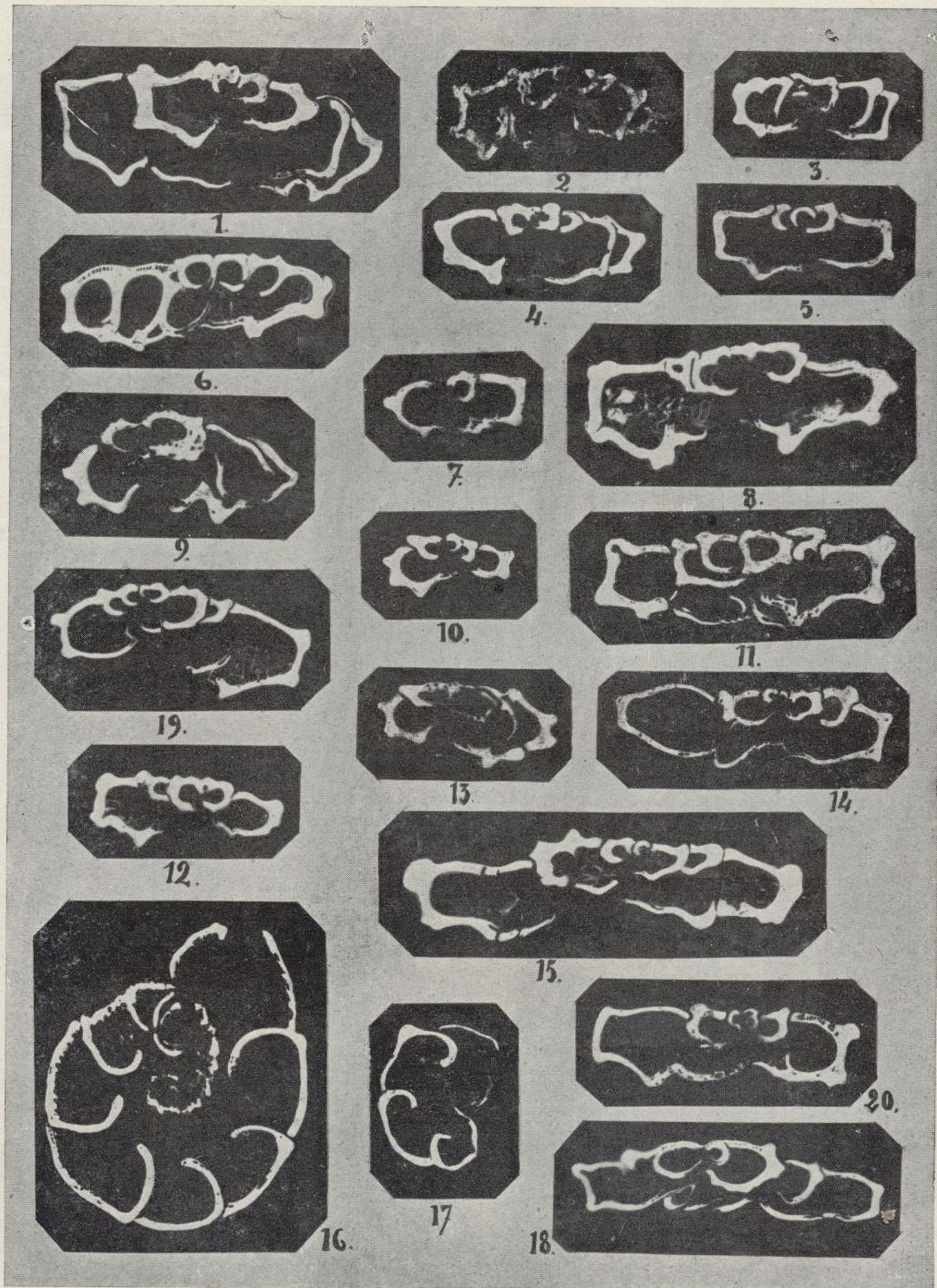




EXPLICACION LAMINA VI

- Figs. 1-11, 12, 13 y 19.—*Globotruncana Lapparenti tricarinata* Quer.; del Turonense de las mismas localidades.
- Figs. 14, 15, 18 y 20.—*Globotruncana Lapparenti coronata* Bolli; del Turonense de las mismas localidades.
- Figs. 16-17.—*Globotruncana Lapparenti tricarinata* Quer.; secciones ecuatoriales correspondientes a esta especie.

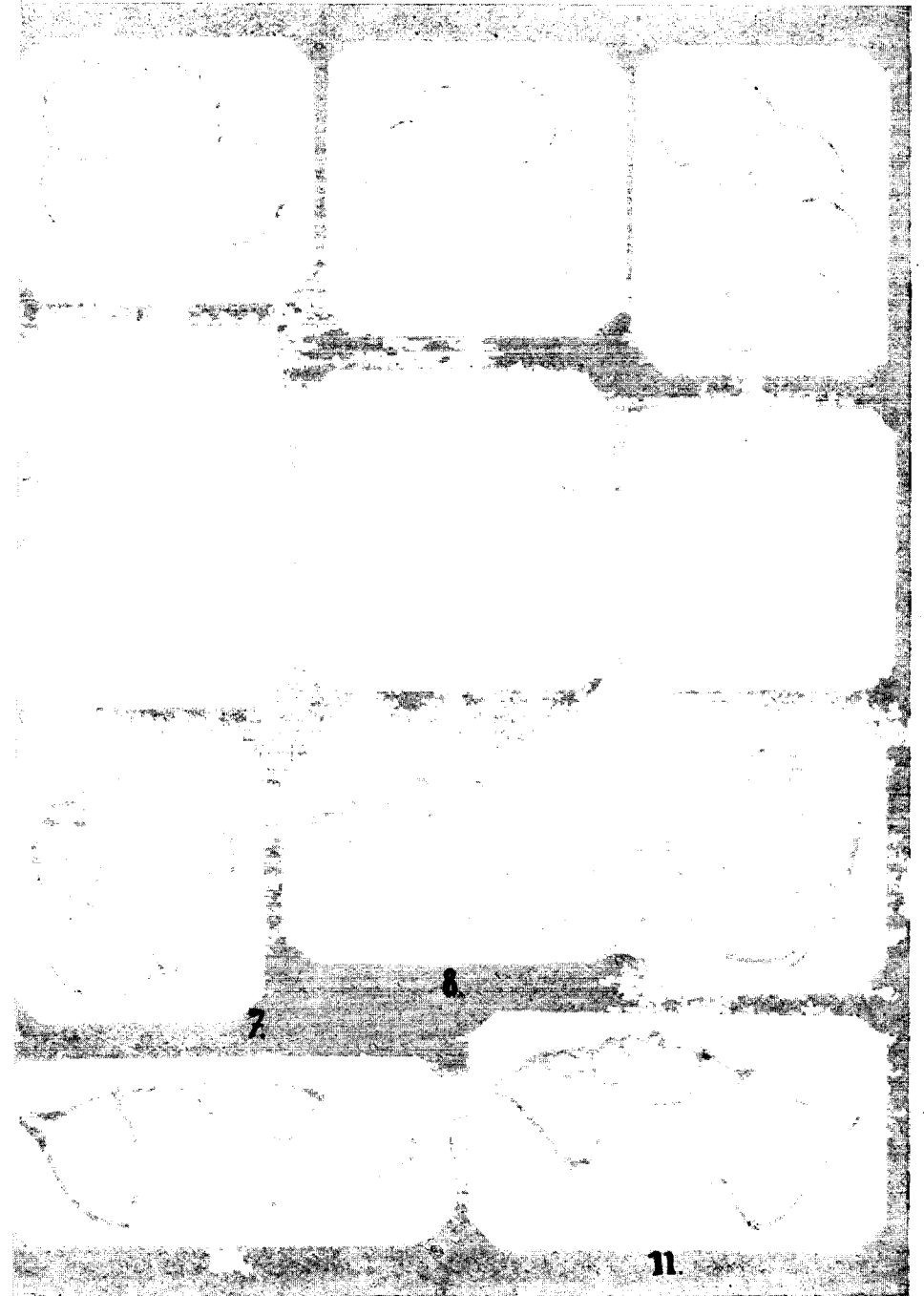




EXPLICACION LAMINA VII

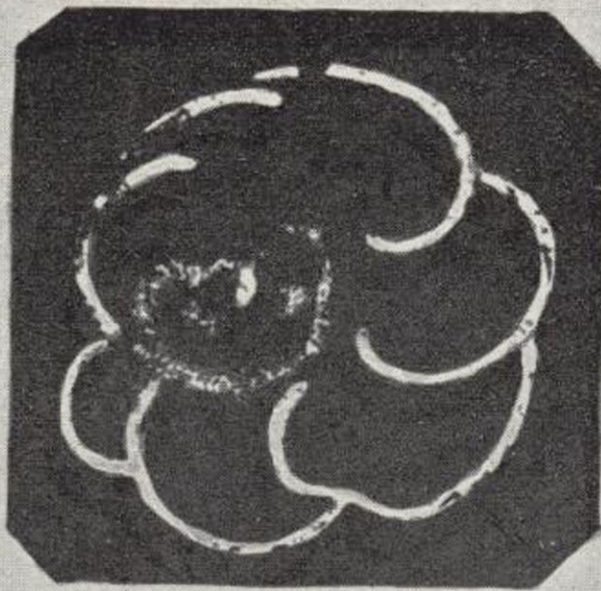
Figs. 1-7 y 9. - Secciones ecuatoriales de *Globotruncana Lapparenti tricarinata* Bolli; del Turonense de Mallorca y de San Sebastián.

Figs. 8, 10 y 11. - *Globotruncana Linnei Stuarti* Lapp.; del Maestrichtiense de la provincia de Murcia.

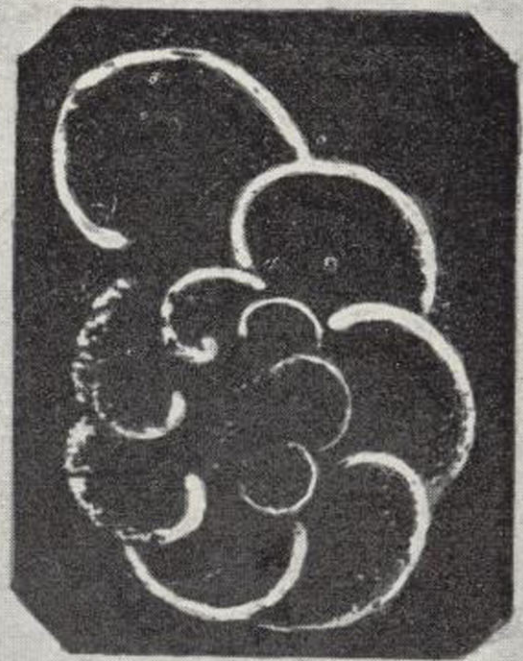




1.



2.



3.



4.



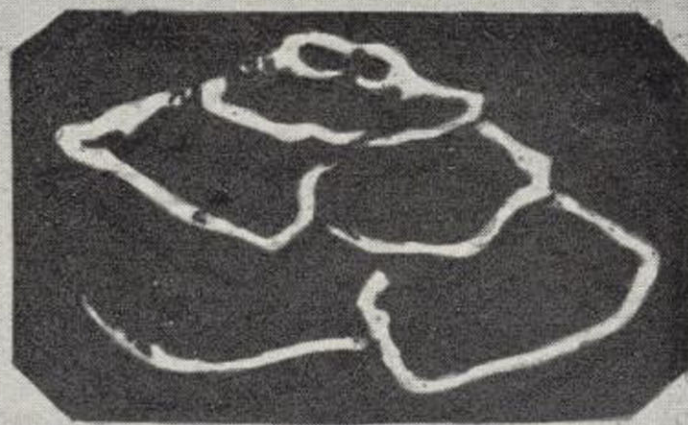
5.



6.



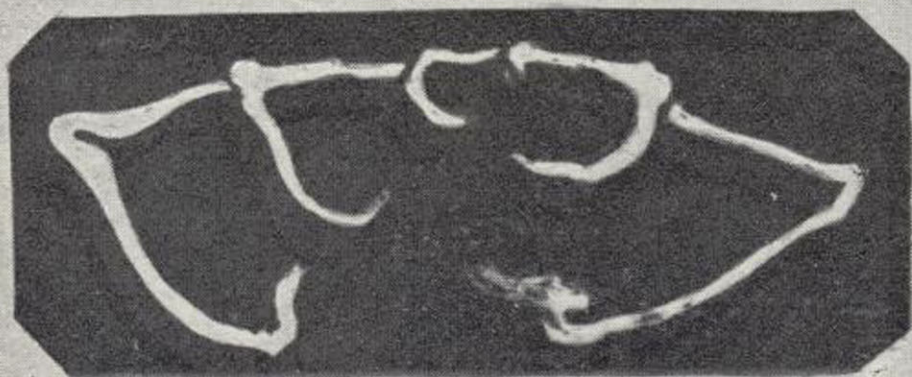
7.



8.



9.



10.

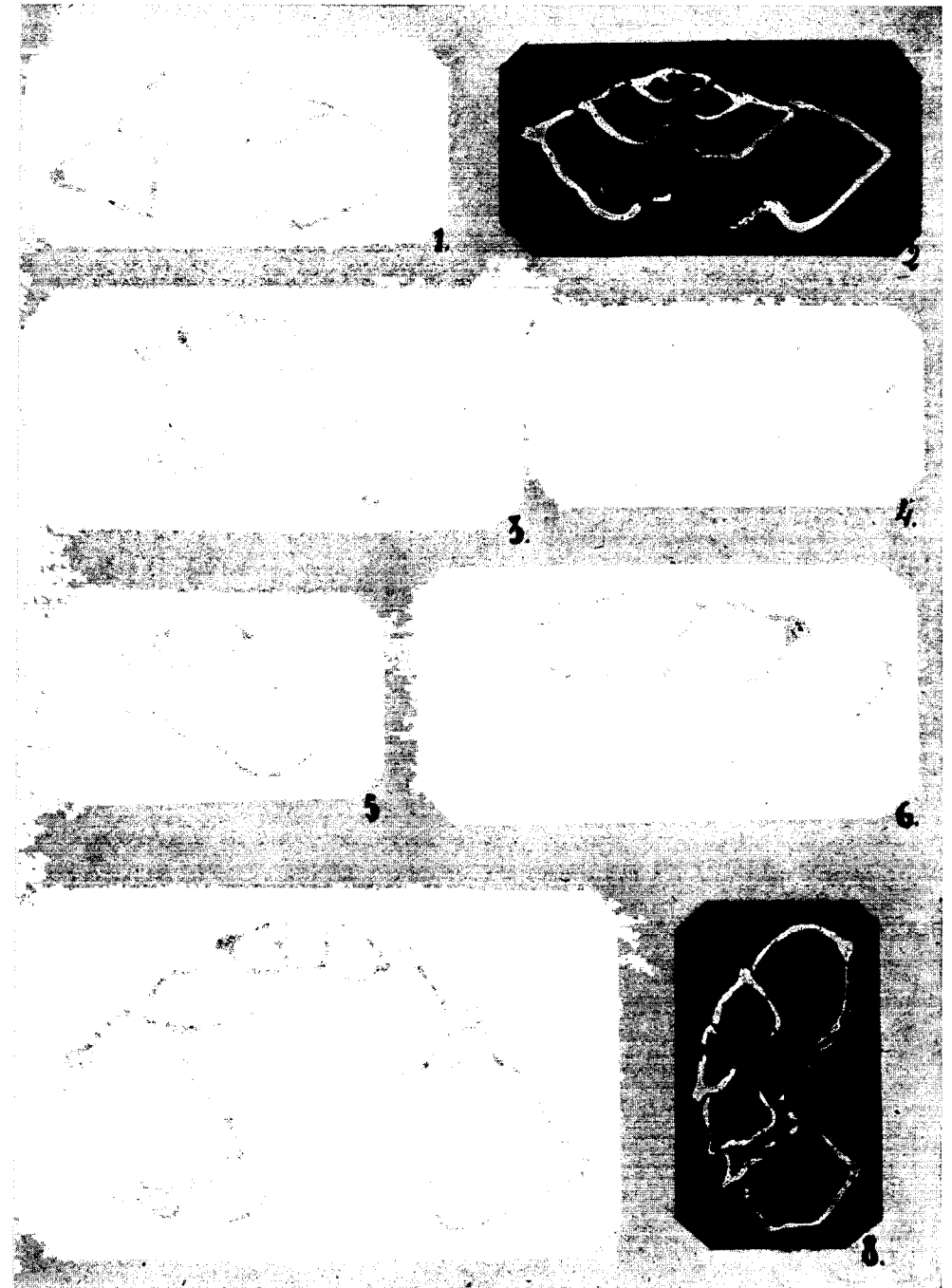


11.

EXPLICACION LAMINA VIII

Figs. 1-6. - *Globotruncana Linnei Stuarti* Lapp.; del Maestrichtiense de la provincia de Murcia.

Figs. 7 y 8. - *Globotruncana Linnei caliciformis* Lapp.; de la misma localidad.





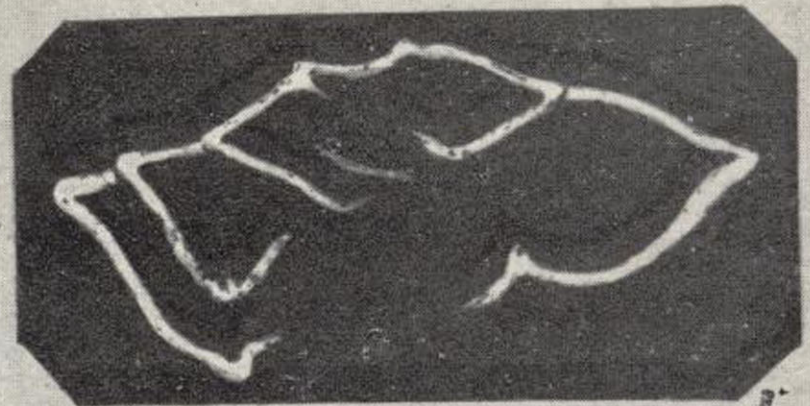
1.



2.



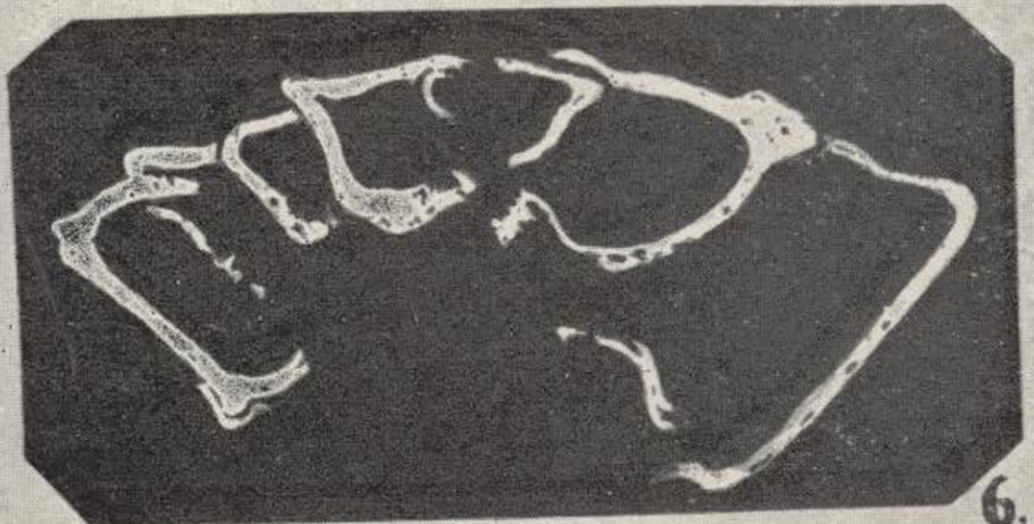
3.



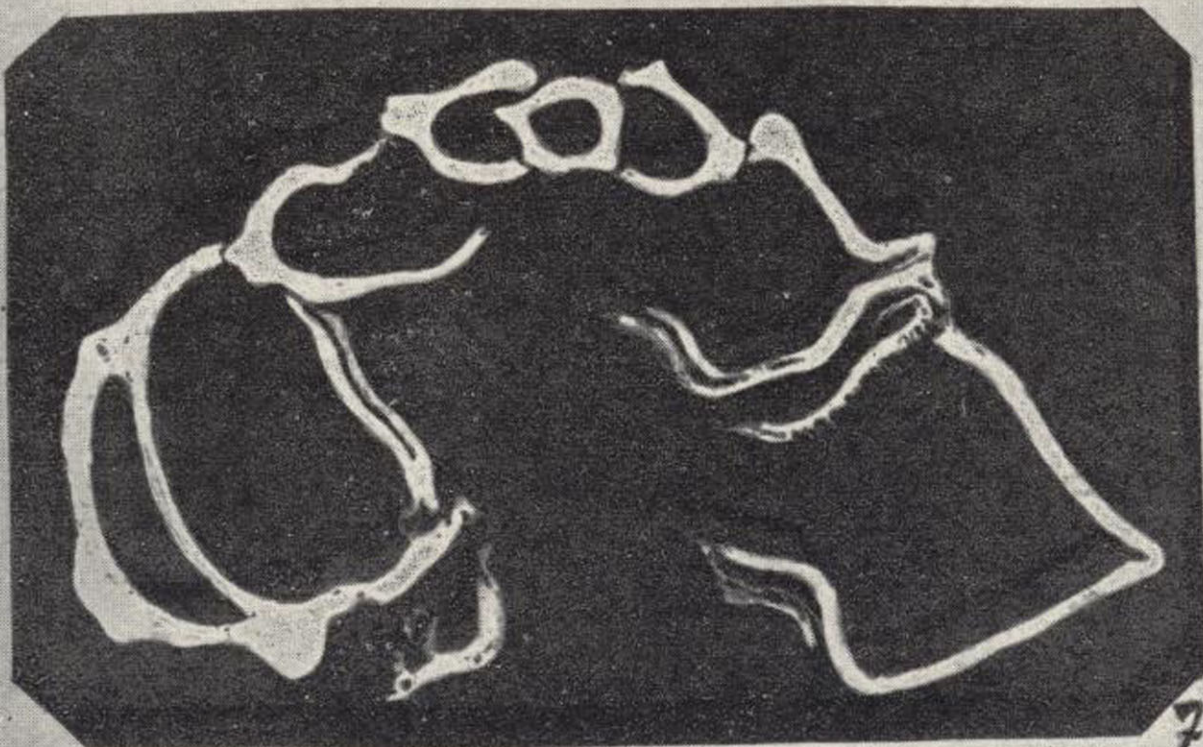
4.



5.



6.



7.



8.

DIAPIRISMO

POR

J. M. RIOS
INGENIERO DE MINAS

I

INTRODUCCION

En nuestras correrías por diversas regiones españolas, sobre todo las pirenaicas y cantábricas, hemos encontrado con frecuencia esos curiosos afloramientos triásicos que surgen inesperadamente en medio de formaciones mucho más modernas. Caminando por extensas unidades de cretáceo superior, eoceno u oligoceno, vemos surgir de entre ellas duras y oscuras rocas ofíticas, atormentadas masas de irregulares carniolas, y el conjunto es un trastornado caos, en que aquellas rocas se presentan revueltas entre desordenadas masas de margas y yesos abigarrados. Su aspecto corresponde exactamente, salvo en el desorden, al de los afloramientos normales del keuper. Su edad viene certificada, algunas veces, por calizas tableadas del muschelkalk, o quizás intrakeuperianas, o por la presencia de los cuarzos bipiramidados, los Jacintos de Compostela.

Este tipo de afloramiento, tan anormal, hace mucho tiempo que empezó a llamar la atención de los geólogos, pero, como es natural, son los de los países en que este fenómeno es más abundante los que más se han ocupado de él. No es, pues, de extrañar que los geólogos franceses, tan distinguidos, por otra parte, en todas las especialidades geológicas, le hayan prestado con gran frecuencia su

interés, ya que su país, y sobre todo la región pirenaica, es muy abundante en estas manifestaciones tectónicas. Leymerie y Choffat (1880-1885) fueron quizá los primeros geólogos que expresaron con otro nombre («tifonismo») fenómenos de concepto diapírico. Fournier (1895) y más tarde otros describieron diversos accidentes diapíricos, señalando su tipo tectónico peculiar. Rumania es otro de los países ricos en este tipo de manifestaciones, y Mrazec, geólogo rumano, creó en 1915 la voz «diapirismo» para designar esta tectónica especial, precisando el concepto, que ya para entonces era más o menos conocido y usado sin esta denominación.

Los geólogos americanos y alemanes lo han estudiado con detalle, y en sus países hay interesantes manifestaciones diapíricas de diversos tipos.

España es un país muy rico en fenómenos de diapirismo de génesis y aspecto muy vario, tanto en la Península como en su protectorado marroquí. Aunque el concepto es perfectamente conocido y usado por nuestros geólogos de largo tiempo a esta parte, no sabemos que haya sido estudiado nunca objetivamente y por sí mismo, aunque nuestra literatura geológica contiene abundantes citas y descripciones de fenómenos de este tipo en memorias regionales o locales.

El vocablo «diapiro» ha sido usado con muy distinta amplitud por los geólogos. En su sentido más general admite fenómenos de tipo muy diverso, tanto en su génesis como en sus características aparentes. Podemos decir que, en este sentido más general, es «diapírica», *por su forma*, toda aquella manifestación de rocas que afloran surgiendo entre y descansando sobre formaciones más modernas, cuando sus contactos con ellas son anormales y no pueden atribuirse más que a razones tectónicas dinámicas.

Por su causa, es «diapírica» toda aquella intrusión de rocas que atraviesa, perforando, las formaciones que tiene encima.

En este sentido más general, incluso los «horsts» podrían ser considerados como diapíricos, aunque se excluyen siempre de este conjunto de fenómenos. Pero entran de lleno en esta definición fenómenos muy varios, en su causa y efectos, como son los pliegues de núcleo perforante, los domos salinos, las masas plásticas, más o menos laminares, que se insertan entre las fracturas de las zonas de tectónica violenta, e incluso las intrusiones magmáticas que corresponden morfológicamente a estos tipos, junto con todas las variantes de tan distintos fenómenos. Claramente se ve que son denominador común su carácter perforante (no otra cosa viene a querer decir la voz diapiro) y, cuando llegan a aflorar, los contactos tectónicamente anormales cerrados sobre sí mismos.

Es frecuente, incluso se puede decir que es más bien el caso general, aquel en que el material diapírico está integrado por rocas plásticas, sobre todo sales o margas salinas o, en otra alternativa, magmas, pero, a veces, ocurre inversamente, que son capas duras las que atraviesan formaciones más o menos blandas y plásticas.

Por su extensión se puede decir que los diapiros, debido a sus dimensiones, en general exiguas, no rebasan la escala de lo local, pero, a veces, se repiten tanto en una misma región que llegan a definir y marcar su tectónica con un sello especial, y entonces pasa el fenómeno a constituir un verdadero estilo tectónico «diapírico».

Por su distribución en la superficie terrestre, es un fenómeno de categoría universal, sobre todo si se amplía a los fenómenos diapíricos causados por masas magmáticas. Los países de plegamiento alpino suelen ser ricos en dia-

piros del tipo de pliegue con núcleo perforante. Los domos salinos obedecen, en su localización a condiciones paleogeográficas, climáticas y sedimentarias, de distribución igualmente universal.

La variedad del fenómeno diapírico es muy patente en nuestro país, tan abundante en manifestaciones de esta clase. El menos observador notará la diferencia entre diapiros como los de Artesa de Segre y Montmagastre, por un lado, y los de Salinas de Añana y Orduña por otro, aunque los cuatro sean tan típicos. Los dos primeros se encuentran en los ejes de agudos anticlinales oligocenos. La explicación de su mecánica no requiere grandes esfuerzos de imaginación; son anticlinales de núcleo perforante. Los últimos, en cambio, aparecen, de manera mucho más insospechada en medio de extensas formaciones tabulares, como el de Orduña, o en el eje de un sinclinal, como el de Salinas de Añana. Aquí su mecanismo no es tan claro como en el caso de los diapiros de pliegue, pero, al fin y al cabo, viene explicado en las obras de geología estructural; son del tipo de los domos salinos. Pero, sobre todo, los motivos de localización de estos últimos no son, desde luego, aparentes. Residen en las zonas profundas, están ligados a toda la historia geológica de la región y no pueden ser aclarados más que por meditados estudios de carácter regional.

Es uno de los casos en que la geología plantea en términos concretos un problema bien definido, cuya solución no es inmediata y en cuya resolución hay que poner en juego toda clase de resortes estratigráficos y tectónicos, porque viene estrictamente ligada a la geología regional y no puede ser explicada por razonamientos teóricos de carácter general.

Al estudiar hace un par de años la región cantábrica,

visitamos varios diapiros de ese tipo. No dejaron de interesarnos entonces muy profundamente, y aunque comprendimos su interés, desde el punto de vista teórico, no pudimos dedicarles mucha atención. De todos modos, ya sentamos entonces, claramente, los hechos en que hemos basado ahora nuestro razonamiento.

Recientemente tuvimos oportunidad de estudiar una obra de Lotze, en que se examinan con detalle estos mismos diapiros. De una manera completamente independiente habíamos llegado nosotros a los mismos hechos generales que había establecido antes Lotze.

Repasamos nuestros datos y, su estudio, comparado con los razonamientos de Lotze, nos llevó a discrepancias y coincidencias, que creímos sería interesante dar a conocer para el mejor conocimiento de la geología española; a esto iba a reducirse primeramente esta publicación.

Tirando del hilo de los diapiros cantábricos llegamos a sus gemelos, los diapiros navarros; éstos no los conocemos en el campo, pero la literatura existente permite aventurar razonamientos que, claro es, no pasan de hipótesis, más o menos ancladas en la realidad. Y, finalmente, atraídos por el sugestivo tema, llegamos al ovillo del diapirismo en general. Entonces vimos que nuestras discrepancias con Lotze resultan de un criterio de escuela, la de Stille, que se aparta, en su interpretación, de la tesis generalmente adoptada.

En general se admite una división de los diapiros en dos tipos, fundamentalmente distintos en cuanto a su mecánica; por un lado, los pliegues diapíricos con plástico núcleo perforante, por otro lado, los domos o chimeneas salinas. Es evidente que en el primer caso el diapirismo es un resultado de presiones tangenciales, que al actuar sobre el núcleo plástico le obligan a romper, buscando

paso al exterior a través de capas más jóvenes. En el segundo caso, es opinión generalmente establecida que las presiones tangenciales no desempeñan papel fundamental; la fuerza de la gravedad actúa diferencialmente en las ligeras capas salinas y las masas más pesadas de estratos que las rodean. Las masas salinas ascienden, en virtud de un desequilibrio isostático que trata de nivelarse. Stille opina, en cambio, que las presiones tangenciales también actúan en este caso, e indicó que las etapas del ascenso están ligadas a las fases del plegamiento.

Esta idea, que sostuvo al principio radicalmente, se vio obligado luego a atenuarla por la fuerza de los hechos. Más adelante desarrollaremos con más detalle estos conceptos.

El tema del diapirismo, en sí mismo, ha sido tan poco atendido en la literatura geológica española, que nos hemos animado a revisar los antecedentes y desarrollo de su conocimiento. No pretendemos, por consiguiente, ser, ni originales, ni ofrecer grandes novedades; pero, no obstante, esperamos haber conseguido reflejar algo del interés de los trabajos de muy ilustres geólogos, si bien sea en un espejo poco brillante.

Hemos conservado el orden original, porque, en realidad, en los argumentos que desarrollamos en la primera parte va implícita la teoría diapírica en su caso más complejo, el de las chimeneas salinas, lo que nos ahorra luego muchos razonamientos. En la segunda parte, y por razones de continuidad con la anterior, examinaremos el caso de los diapiros navarros a la luz de los escasos datos de que hemos dispuesto. En las sucesivas, examinaremos el desarrollo y tendencias de la teoría diapírica y características de las regiones diapíricas más conocidas de nuestro globo.

Es decir, nos elevaremos de casos particulares a la teoría general, aunque pudiera parecer más lógico el orden inverso, pero ya teníamos totalmente escrita la primera parte cuando ampliamos el trabajo a la teoría general, y nos hemos resistido a tocarla, tanto más cuanto quizás es, después de todo, más ventajoso para la claridad de la exposición hacerlo de este modo.

II

LOS DIAPIROS MODELO DE CANTABRIA

(Láms. I y IV)

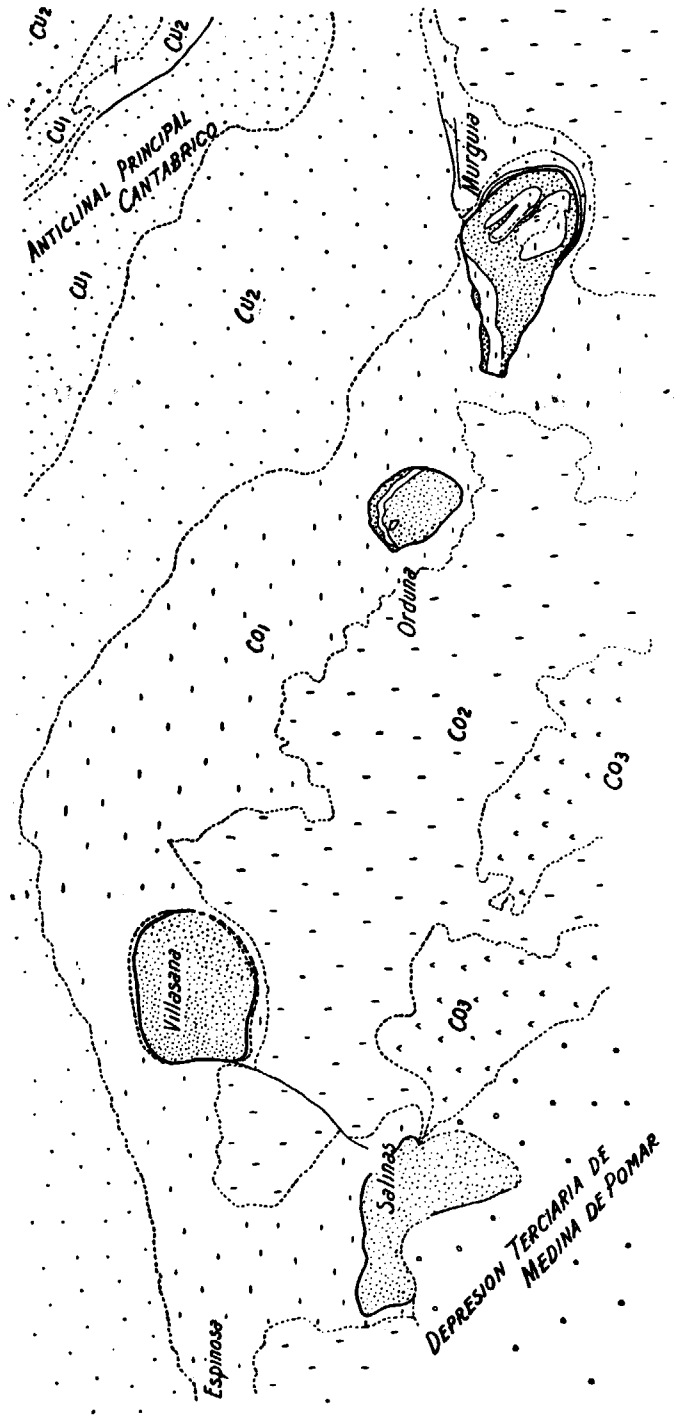
En una publicación reciente (1), (2), nos hemos ocupado con cierto detalle de los típicos diapiros de Salinas de Rosío, Villasana de Mena y Orduña.

Su carácter diapírico, por otra parte muy neto, ha tardado mucho tiempo en ser reconocido. Todavía, en los mapas geológicos nacionales, a escala 1 : 400.000 (1931) y 1 : 1.000.000 (1936), no se representa en ellos el triás, alguno de los afloramientos es ignorado y los otros aparecen solamente como manchas de ofita. Sin embargo, casi al mismo tiempo e independientemente, se reconocieron como tales diapiros el de Orduña, por P. H. Sampelayo (3), y los restantes por Schriel, en 1930. No han faltado interpretaciones contrarias, así, por ejemplo: E. de Jorge, en

(1) Ríos, Almela y Garrido: «Contribución al conocimiento de la Geología Cantábrica (un estudio de parte de las provincias de Burgos, Alava, Vizcaya y Santander)».—Bol. del Instituto Geológico y Minero de España. Tomo LVIII. 18.º de la 3.ª serie. 1945.

(2) Las referencias bibliográficas van reunidas, además, al final, con el mismo número y en el mismo orden en que aparecen como notas de pie de página en el texto.

(3) P. H. Sampelayo: «Investigaciones petrolíferas en España».—Revista Minera, Metalúrgica y de Ingeniería. 1932-1933. Los estudios se realizaron algunos años antes de su publicación.



Lám. I.—Mapa tectónico de conjunto de las montañas cantábricas, entre Espinosa de los Monteros y Murguía. Escala 1 : 400.000. (Según Lotze, 1934.)

Punteado compacto: Keuper.—Cu₁ y Cu₂: Cretáceo inferior.—Co₁, Co₂ y Co₃: Diferentes tramos del cretáceo superior.—t: Terciario.

1933, describe el diapiro de Orduña (4) como un afloramiento normal del triás en la charnela de un anticlinal desmantelado, lo que a nuestro juicio es erróneo (5). Los geólogos que posteriormente han trabajado en esta región, C. Sáenz, Ciry, etc., no han dudado en atribuir, a éste y demás afloramientos gemelos, el carácter diapírico que evidentemente tienen.

Recientemente ha caído en mis manos una importante publicación de Lotze (6). Es Lotze un ilustre geólogo, y su trabajo «Steinsalz und Kalisalze» un tratado de todo lo que concierne a la geología de los yacimientos salinos de todos tipos y edades.

Sin duda, atraído por las características de estos diapiros, que hacen de ellos un verdadero modelo, se dedica con detalle a su estudio y descripción. Lo que nos proponemos es dar a conocer a los lectores españoles, ya que la obra, por su fecha de publicación, ha tenido muy escasa difusión en España, el estudio que hace de estos diapiros, su clasificación, características tectónicas y estratigráficas, génesis y motivos. Paralelamente expondremos los hechos observados por nosotros y, de esta manera, podremos ofrecer una síntesis de estos casos de diapirismo, fenómeno, que si siempre tiene interés, lo ofrece máximo en estos ejemplos, que pueden considerarse como verdaderos modelos estilizados del fenómeno diapírico. Téngase además

(4) E. de Jorge: «El triásico en Vizcaya». — Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Vol. I, n.º 5.

(5) De Jorge supone que el senonense, en realidad turonense, se apoya discordantemente sobre un liásico, cuya edad no justifica paleontológicamente. Bajo él aparecerían en serie normal el rético y el keuper. El liásico no existe, a menos que haya algún retazo arrastrado por el diapiro. El triás es diapírico.

(6) F. Lotze: «Steinsalz und Kalisalze». — Lagerstätten der Nichte. III, 1 Gebrüder Borntraeger. Berlin, 1938. 930 páginas.

en cuenta que tanto nuestra observación en el campo, como las deducciones, son absolutamente independientes de las de Lotze, y la coincidencia en cuanto a la apreciación de sus características y causas es muy grande. Al reunir los antecedentes, así como al preparar en estos días la publicación de la hoja de Miranda de Ebro, hemos visto que a los citados anteriormente se podían reunir, además, los diapiros de Salinas de Añana, Murguía y Maestu, de características análogas y emplazados, igualmente, en la región cantábrica, y nos hemos animado a extender a ellos nuestras consideraciones, aunque no los hemos visitado.

La descripción de la geología de la región en que enclavan estos diapiros la hemos hecho en una publicación reciente (7), y más detalladamente en la obra antes citada (I), por lo que no vamos a entrar en detalles, y remitimos al lector a su consulta. La vamos a describir esquemáticamente. Las formaciones que integran la región cantábrica de manifestaciones diapíricas son: el triásico, constituido por un fondo de bunt, probable ausencia del muschelkalk, y el keuper, cuyo material constituye los diapiros, únicos afloramientos triásicos, muy anormales, visibles. El lías y dogger con espesores comparativamente reducidos. El cretáceo inferior, constituido por un complejo en que debe incluirse el cenomanense. Sus enormes espesores, de muchos miles de metros, presentan facies wealdense con arcillas micáceas pizarreñas, siempre algo arenosas, de tonos oscuros y formación continental-costera, con restos carbonosos. Contienen intercaladas

(7) Almela, Garrido y Ríos: «Una nueva mancha liásica en No-graro (Val de Gobeia, Alava)». - N. y C. del I. G. y Minero de España. Tomo 12. 1944.

algunas barras de calizas marinas con toucasias, requienias y orbitolinas, y estas últimas se presentan también en algunos niveles entre las arcillas arenosas. El cenomanense es de aspecto parecido, pero contiene, además, bancos calizos y abundantísimas orbitolinas. Es en cambio más netamente marino.

Un conjunto turonense-senonense, con espesor de varios miles de metros hacia el Norte, constituido por una complejísima serie de tramos calizos y margosos en horizontes muy continuos y fosilíferos y sobre él descansan el garumnense continental, eoceno marino, constituido por calizas de numulites y alveolinas, de poco espesor, y otros tramos salobres o continentales mucho más potentes. El conjunto aparece parcialmente cubierto por el oligoceno continental.

La disposición estratigráfica es la siguiente: los enormes espesores cretáceos disminuyen muy rápidamente hacia el Sur, reduciéndose casi a su quinta o sexta parte en una distancia horizontal relativamente pequeña. Los espesores terciarios se reducen, por el contrario, de Sur a Norte, de modo que en la zona Norte faltan por completo.

La disposición tectónica es aun más importante. En sus líneas más generales es la siguiente: una inmensa unidad, en cierto modo tabular, aunque la inclinación no es uniforme (de 70° SO., en la zona NE., a 8° SO. en la zona SO., pero con cambios graduales en grandes distancias horizontales). En ella enclavan tres de los diapiros cantábricos (Villasana de Mena, Orduña y Murguía). Está limitada al Sudoeste por un sinclinal suave, en cuyo eje aparece otro diapiro (Salinas de Añana). (Láms. I y IV.)

Este sinclinal es accesorio de otro mayor, en cuyo flanco NO., que forma en cierto modo parte aun de la estructura tabular, está el último diapiro (Salinas de Rosío). La

compartimentación de ambos sinclinales se hace por la intercalación de un anticlinal (Lalastra-Sobrón).

Los diapiros enclavan, por consiguiente, en una zona de tectónica suave y de complejísima estratigrafía, compuesta por el triásico, liásico, cretáceo inferior y superior, eoceno y, a veces, oligoceno. El espesor conjunto puede verdaderamente calificarse de fantástico, y se debe, sobre todo, a las grandes cifras que miden el cretáceo inferior y el turonense-senonense.

El fenómeno diapírico tiene lugar por intrusión perforante del keuper, que atraviesa todas las formaciones que tiene encima, hasta aflorar, y actualmente lo hace, según los diapiros, en contacto con una o varias de estas formaciones: cretáceo inferior, cretáceo superior, eoceno u oligoceno.

Material de los diapiros.

DIAPIRO DE SALINAS DE ROSÍO (lám. II, fig. 1).—El diapiro de Salinas de Rosío presenta, como todos ellos, un keuper de aspecto variable, con margas grises y azules y arcillas deleznable (La Maza); margas azules con Jácintos de Compostela (vértice Cañares, al Sur de Villatomil), que por su aspecto, vistas a lo lejos, conducen a confusión, pues más bien parecen cretáceas o eocenas. En otros lados tienen un color blanco, vinoso o azul violado, y presentan entonces el aspecto de la tiza empapada en tinta (La Riva, La Cerca). Pueden tener el aspecto típico del keuper germánico, con margas y tierras rojas y abigarradas, con yesos en masa, susceptibles de explotación (La Cerca, Villatomil, Bóveda de la Ribera, La Riva).

Son abundantes las masas y bloques de calizas mag-

nesianas cavernosas, con los colores amarillos y rojizos de las carniolas. Se encuentran estos bloques salpicando por doquier las masas de margas. Es imposible establecer el orden de correlación, pero más bien que las carniolas re- tienses parecerían ser un tramo de calizas magnesianas intrakeuperianas.

Lo mismo ocurre con las masas ofíticas (8), de cuyos restos se ve, a veces, más o menos cubierto el diapiro, sin que sea posible apreciar con exactitud la situación del afloramiento de que provienen. Hemos podido llegar a localizar tres manchas ofíticas en Rosales, Villatomil y al Sur de La Cerca. Esta última parece estar rodeada de una aureola metamórfica de pizarras, si bien, quizá, no sean otra cosa que las margas pizarreñas negras del wealdense, que arrastradas por el keuper han tomado un aspecto metamórfico. La presencia de sales se denota por la existencia de manantiales salinos que, en Salinas de Añana, son objeto de explotación.

DIAPIRO DE VILLASANA DE MENA (lám. II, fig. 2).—En el diapiro de Villasana de Mena, de aspecto muy parecido, tenemos margas blancas, como creta, y vinosas (El Vigo, Siones), o arcillas rojas y abigarradas (Ordejón de Ordunte). En este diapiro son muy abundantes las calizas dolomíticas cavernosas, amarillo rojizas, esparcidas en bloques y masas por todo el diapiro.

En algunas zonas el suelo está materialmente cubierto por fragmentos y pelotas de rocas oscuras de textura ofítica, pero rara vez se ve el afloramiento de la roca firme.

(8) Son rocas de aspecto ofítico, pero cuyo verdadero carácter petrográfico de ofitas ha sido negado por San Miguel y otros.

DIAPIRO DE ORDUÑA (lám. II, fig. 3).—El diapiro de Orduña es de características análogas a los anteriores, presenta, igualmente, yesos que se explotan en las afueras de Orduña, y carniolas. No hemos visto ofitas, pero han sido señaladas por Adán de Yarza, por Schriel y C. Sáenz.

DIAPIRO DE MURGUÍA (9) (figs. 5 y 6).—Constituído, según los autores de la hoja de Vitoria, por margas irisadas, yesos y carniolas, apareciendo en diversos lugares afloramientos de ofita, algunos de relativa importancia, que debieron en su origen formar un extenso lacolito.

DIAPIRO DE SALINAS DE AÑANA (10) (fig. 7).—De análogas características estratigráficas. Su carácter salino está subrayado por manantiales, objeto de activa explotación.

DIAPIRO DE MAESTU (11) (fig. 8).—El triás de este diapiro está constituido por margas, yesos y carniolas del keuper y, como novedad sobre los anteriores, presenta unas calizas tableadas con fósiles característicos, según los autores de la hoja, del ladiniense superior:

Gervilleia mytiloides, Schlot.

— *elegans*, Schlot.

— *fraasi*, Philippi.

— *subcostata*, Philippi.

Schirolepos braussi, Schenk.

(9) «Hoja Geológica de Vitoria (n.º 112), a escala 1:50.000».—Instituto Geológico y Minero de España. 1936.

(10) «Hoja Geológica de Miranda de Ebro (número 173), a escala 1:50.000».—Instituto Geológico y Minero de España. 1946.

(11) «Hoja Geológica de Eulate (n.º 139), a escala 1:50.000».—Instituto Geológico y Minero de España. 1933.

Hoernesia socialis.

Natica gregarea.

Modiola sp.

Naticopsis sp.

Criptonerita sp.

Mytilus sp.

Existen abundantes asomos ofíticos.

Características originales de este material.

El triásico de esta región, según lo dan a conocer los geólogos que lo han estudiado (12, 13, 14), se compone de keuper con arcillas abigarradas y cuarzos bipiramidados, yesos, sales y ofitas. El espesor aparente es muy variable y, según Karrenberg, puede llegar a más de 100 metros, bajar a cinco metros o faltar en absoluto; su espesor real es muy difícil de determinar, porque la menor presión tectónica lo puede expulsar de extensas zonas. En esta apreciación coincide Ciry; Karrenberg señala, además, la presencia de 30-40 metros de calizas del muschelkalk, que Ciry rechaza, atribuyéndolas a confusión con el lías inferior.

(12) Raymond Ciry: «Etude Géologique d'une partie des Pyrénées de Burgos, Palencia, León et Santander».—Tesis doctoral. Toulouse, año 1940.

(13) Walter Schriel: «Die Sierra de la Demanda und die Montes Obarenes».—Berlin, 1930. Traducción española por L. G. Sáinz y J. Gómez de Llarena: «La Sierra de la Demanda y los montes Obarenes».—C. S. de I. C., Instituto Juan Sebastián Elcano. Madrid, 1945.

(14) Herbert Karrenberg: «Die Postvariscische Entwicklung des Kantabro-Asturischen Gebirges». Berlin, 1934. Beitr. zur Geol. der Westl. Medit. Abh. der Ges. der Wiss. zu Göttingen. Math. Phys. Klasse III. Folge Heft 11.

En realidad en los diapiros no hemos visto roca alguna que nos recuerde el muschelkalk, exceptuando, como hemos dicho, el más oriental de ellos, el de Maestu, ni tampoco el buntersandstein, que también integra el triás de esta región.

El relleno de la chimenea diapírica está constituido, pues, esencialmente, por el keuper, con su cortejo de ofitas efusivas (15), y por las carniolas del rético, o quizás intrakeuperianas, así como por aureolas marginales ocasionales de arrastre de las formaciones que atraviesa, sobre todo del cretáceo inferior.

Disposición tectónica.

Lotze (6) distingue dos tipos tectónicos fundamentales de yacimientos salinos: los de disposición concordante, o yacimientos estratigráficamente normales (Cardona o Surria), y los de disposición discordante, en que las masas salinas aparecen desplazadas de su posición normal por causas tectónicas. Los de disposición discordante-perforante los divide en seis tipos: 1.º Pliegues diapiros. 2.º Intrusiones sencillas en grietas o fallas. 3.º Formas de transición del tipo anterior a chimeneas salinas (Salztöcke). 4.º Chimeneas salinas (diapiros, eczemas). 5.º Glaciares salinos. 6.º Inyecciones en cadenas alpinotipas.

El primer tipo abunda en España, en el Pirineo y en la Bética.

El segundo tipo lo hemos visto, en esta misma región, en los montes Obarenes.

(15) De efusión, desde luego, triásica, simultánea con la sedimentación del keuper; es decir, las ofitas aparecerían interestratificadas.

Al cuarto tipo, de las auténticas chimeneas salinas, pertenecen los diapiros de que nos ocupamos ahora.

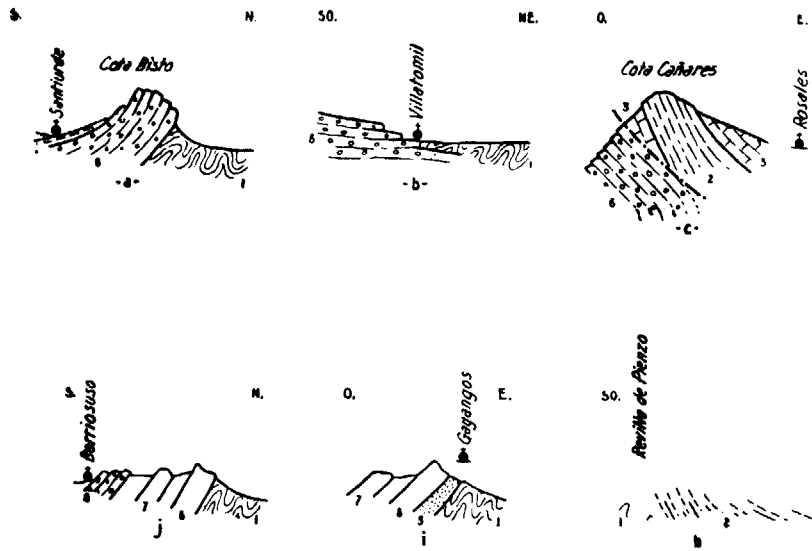
Las auténticas chimeneas salinas, dice Lotze, que pueden presentarse, bien asociadas con pliegues diapiros (Rumania), o bien situadas jalonando largas líneas de fractura (como en Alemania del Norte), o bien, aisladas, como están en el Norte de España los diapiros de que vamos a ocuparnos. Ya hicimos notar nosotros que los diapiros cantábricos (I, pág. 99) no están ligados por ninguna línea de falla superficial, y aunque sin duda alguna son de una misma edad y efectos de una misma causa, constituyen fenómenos aislados del mismo carácter, pero no forman parte de un mismo accidente tectónico. Este carácter individual es el que hace que Lotze los considere, dentro de su tipo general, los más puros representantes del tipo diapírico, en superior grado que los fenómenos, de análogo tipo morfológico, pero distintas circunstancias de ocurrencia, de Alemania del Norte y de Rumania.

Pasemos a la descripción local de los diferentes diapiros.

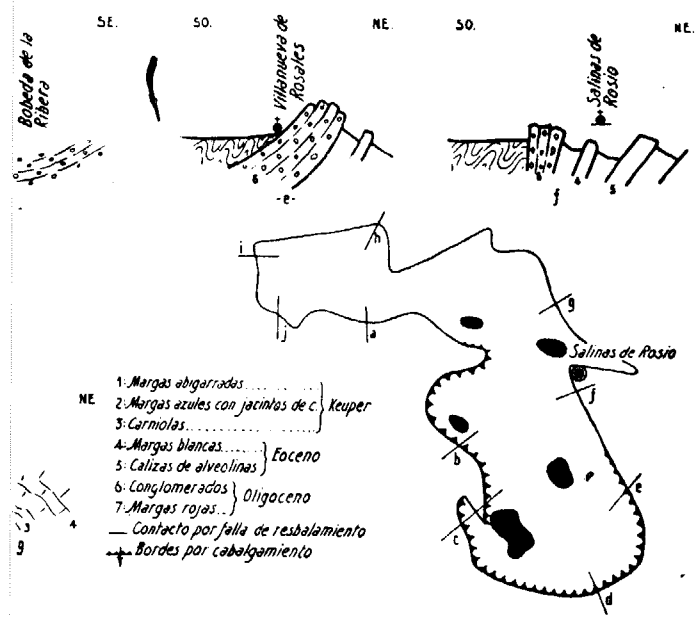
DIAPIRO DE SALINAS DE ROSÍO (lám. II, fig. I).

Su interior.—Está constituido por una intrusión de masas de keuper, integrado por margas rojas, azuladas, grises y violáceas, con yesos, a veces en grandes masas. Hay manantiales salinos que se explotan (Salinas de Rosío), pero las sales no afloran. Está todo el keuper sumamente trastornado y entre las margas afloran fragmentos, bloques e incluso grandes masas de carniolas oquerosas, que llegan a constituir cerros y colinas. Son abundantes los fragmentos de ofitas en casi toda el área, y hay varios afloramientos firmes. Uno de ellos (al Sur de La Cerca) está rodeado de lo que parece una aureola metamórfica.

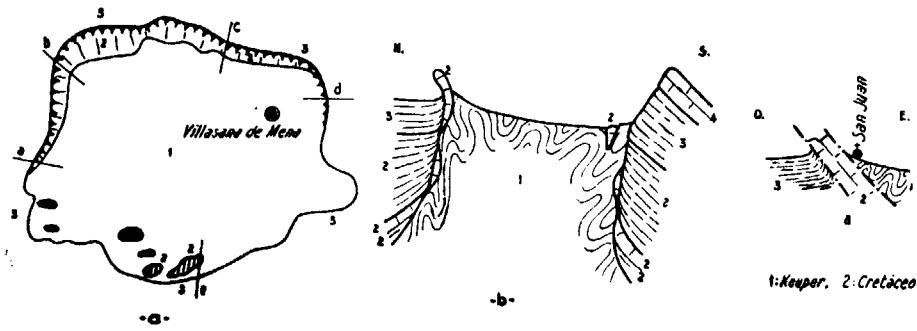
DIAPIRO DE



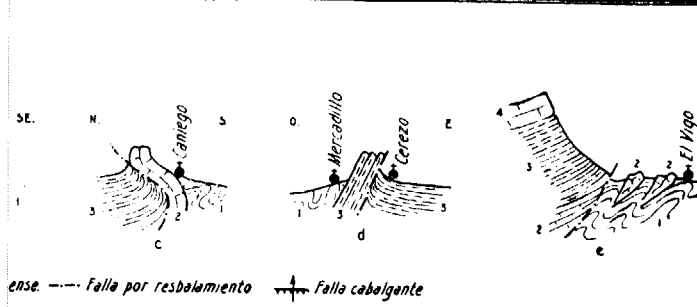
ROSIO



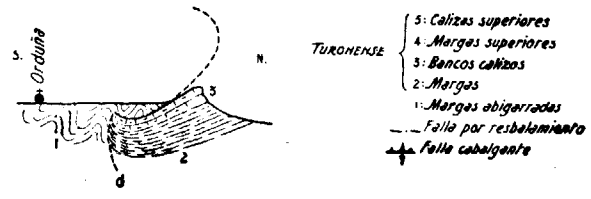
DIAPIRO DE



MENA



DIAPIRO



Las márgenes.—La mitad meridional del diapiro está enclavado en el oligoceno. Los contactos con el oligoceno se expresan en los cortes esquemáticos *a, b, c, d, e*, de la figura 1.

La mitad superior se ha abierto paso al exterior, fuera de la depresión de Villarcayo, aflorando en las capas del turonense inferior margoso. El carácter de los contactos lo hemos resumido en los esquemas *f, g, h, i, j*, de la fig. 1.

De los esquemas parciales que acabamos de presentar se deduce que el carácter del contacto se reduce a uno de los cuatro tipos que se representan en la fig. 4.

Todos los contactos son anormales, pero en algunas zonas el diapiro, en todo análogo en su modo de funcionar a un aparejo volcánico, ha desbordado sobre las zonas contiguas, y el keuper las cabalga.

El mapita del diapiro muestra cómo se distribuyen en el perímetro los contactos por resbalamiento y los contactos por cobijadura.

DIAPIRO DE VILLASANA DE MENA (lám. II, fig. 2).

El interior.—Está constituido por rocas de análogo tipo. Las masas de carniolas y margas del keuper están igualmente trastornadas y trituradas. Hay afloramientos ofíticos, e infinidad de pelotas y fragmentos de esta roca cubren algunas áreas.

Las márgenes.—Todo el afloramiento está enclavado en las margas turonenses, pero el diapiro ha arrastrado retazos del cretáceo inferior, que quedan dispuestos en aureola o incluidos en la masa del keuper.

En sus lados Norte y NO. está rodeado por unas capas muy inclinadas, verticales e incluso volcadas; al Norte de Caniego, y en contacto con masas de carniolas, hay unos 10 a 20 metros de caliza gris azulada, compacta, con restos



Fig. 4.—Esquemas representativos de los diferentes tipos de contactos marginales observados en los diapiros de Salinas de Rosío, Villasana de Mena y Orduña.

fósiles, al parecer de rudistos del tipo polyconites, firmemente engastados y sólo perceptibles en secciones. Continúan en crestón hacia el Oeste como calizas negras, duras y fétidas. Más al Oeste, en Concejero, estas calizas, cargadas de mica, pueden considerarse como maciños o areniscas micáceas de cemento calizo, de color amarillento negruzco, y contienen abundantes orbitolinas y otros restos fósiles; están en contacto con las carniolas del diapiro. Viene a morir esta corrida al Sur de Urbaneja. Por la descripción que se acaba de hacer parece que se trata, en efecto, de un arrastre de la facies wealdense, en contacto, por el interior, con el keuper diapírico y, por el exterior, con margas del turonense.

En la parte Sur presenta este diapiro (El Vigo-Siones) varios retazos de margas amarillas y calizas negras con vetas de calcita, todo ello muy milonitizado, que parecen, igualmente, arrastres de las calizas aptenses incluídas en la facies wealdense.

Los esquemas de la figura 2 muestran la naturaleza y disposición de los contactos.

El diapiro, en conjunto, se presenta en la forma que indican los croquis *A* y *B* de la figura 2.

DIAPIRO DE ORDUÑA (lám. II, fig. 3).

Su interior.—Constituído, como los anteriores, por carniolas y margas abigarradas y yesíferas. No hemos visto las ofitas, pero han sido ya señaladas por diversos autores.

Sus márgenes.—Es un diapiro de características iguales al anterior. Aflora íntegramente dentro de las margas turonenses. No vimos arrastres de las capas del cretáceo inferior. Representamos esquemas de su contacto en la figura 3. Soporta en su zona oriental un pequeño retazo flotante de las margas turonenses contiguas.

DIAPIRO DE MURGUÍA (figs. 5 y 6).—No hemos estudiado nosotros este diapiro, que analiza, sin embargo, Lotze cuidadosamente (16 y 6); su descripción es como sigue:

El diapiro de Murguía, cuya estructura tectónica viene representada en la figura 5, presenta características muy especiales en su interior. Dentro de su perímetro se presenta, además del keuper, el cretáceo superior, en conexión tectónica con aquél, si prescindimos de algunos elementos senonenses que yacen anormalmente sobre el keuper o normalmente sobre el cretáceo superior más bajo.

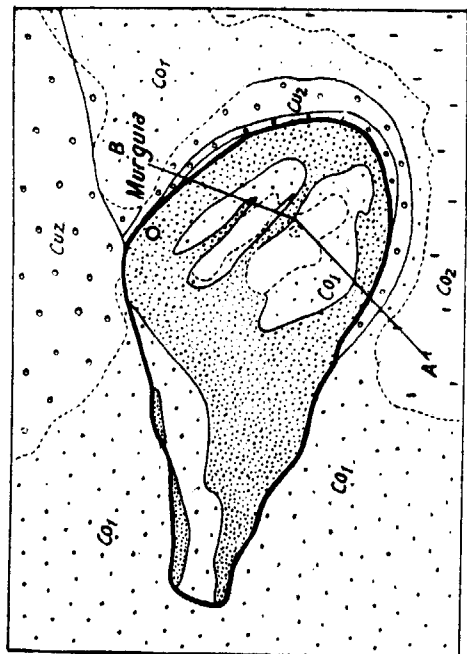
Los elementos cretáceos descansan libremente («flotan») sobre el keuper, como isleos limitados inferiormente por tendidas superficies de contactos estratigráficamente anormales, o sea por considerables trastornos tectónicos.

El keuper se sumerge bajo los isleos cretáceos en todo su contorno, y que existe bajo ellos lo demuestran estrechos afloramientos de margas abigarradas, las cuales han intruído en aquéllos desde debajo, a lo largo de estrechas bandas, levantando, al hacerlo, las márgenes de los isleos.

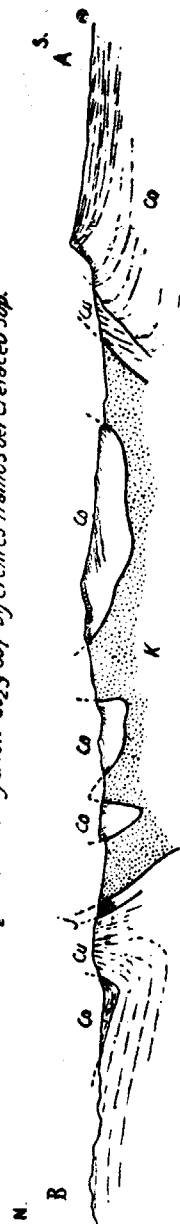
Las manchas cretáceas son, por consiguiente, isleos de despegue y constituyen, al mismo tiempo, fragmentos del antiguo techo cretáceo de la chimenea salina, por lo que se las debe de considerar como autóctonas.

La parte oriental de este diapiro ha sido representada en la hoja de Vitoria (9). En ella se señalan unos afloramientos de ofitas que no ha registrado Lotze en su mapita. La fig. 6 es la interpretación de su tectónica según los autores de la hoja. Si se salva la deformación producida por la exageración de la escala vertical ($\times 5$) se observa

(16) Franz Lotze: «Über *Autochtone klippen* mit Beispilen aus den Westlichen Pyrenäen». - Nachrichten v. d. A. der W. z. Göttingen. IV. N. F. Tomo I, n.º 1. 1934.



Escala 1/50.000
 Co₂: Cretáceo inferior. Co₁ y Co₂: Diferentes tramos del Cretáceo sup.



Longitud del corte: 10,5 kms. K: Keuper. j: Jurásico. Cu: Cretáceo inferior. Co: Cretáceo superior

Fig. 5.—Mapa y corte del ezema salino-triásico de Murguía. (Según Lotze, 1934.)

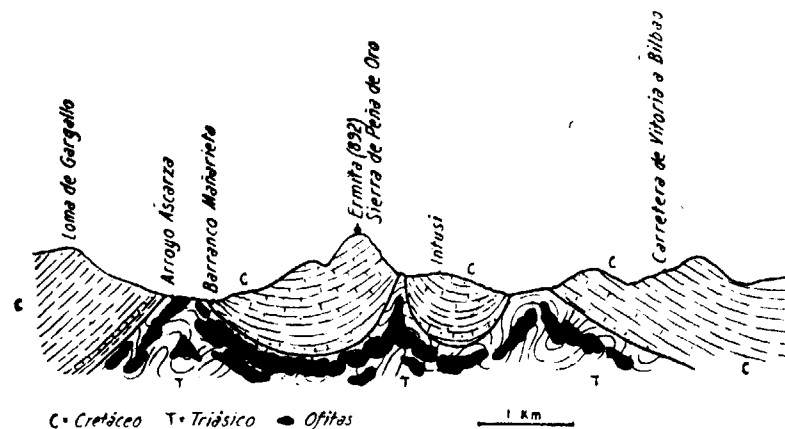


Fig. 6.—Corte a través del diapiro de Murguía. (Hoja de Vitoria, 1936.)

también en él muy claramente la disposición marcada por Lotze.

DIAPIRO DE SALINAS DE AÑANA (fig. 7). —Aflora este diapiro enteramente rodeado por el oligoceno. Ha sido figurado con detalle en la hoja de Miranda de Ebro (10). El

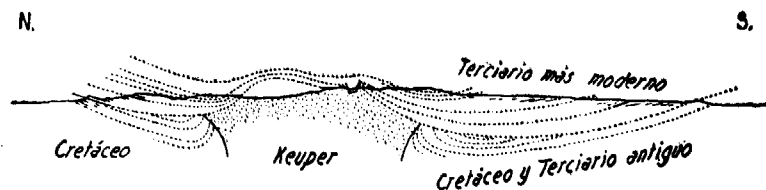


Fig. 7. —Corte a través de la chimenea salina de Salinas de Añana. Compárese la potencia del terciario alto en la proximidad del diapiro con la de las zonas más distantes. (Según Lotze, 1936.)

empuje triásico ha levantado las capas del oligoceno, a veces levemente, otras hasta la vertical. En cualquier sentido que nos alejemos del diapiro, recobran en seguida las

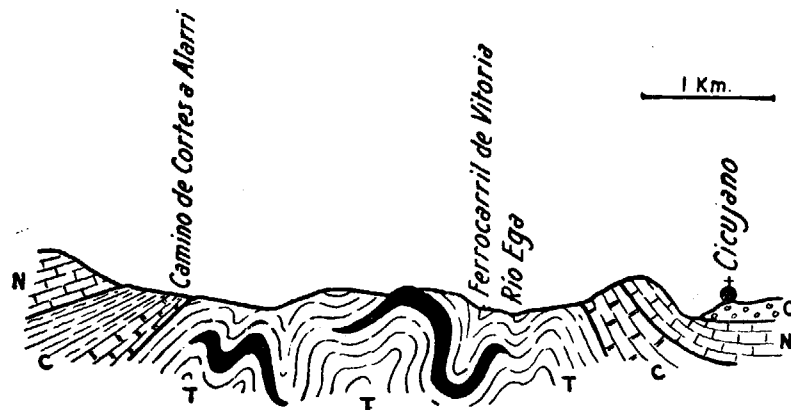
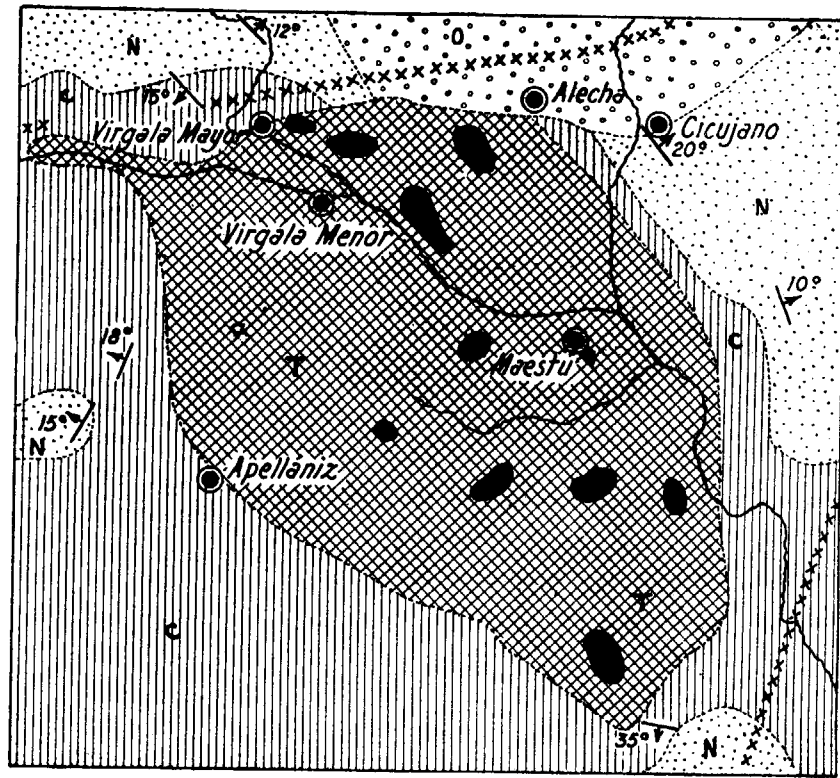


Fig. 8.—Diapiro de Maestu. (Hoja de Eulate, 1933.)

O: Oligoceno.—N: Eoceno.—C: Cretáceo.—T: Triásico.—■: Ofitas, —XXX: Sinclinal.

capas la posición que les corresponde según la tectónica regional. La fig. 7 expresa la disposición de este diapiro.

DIAPIRO DE MAESTU (fig. 8).—Incluyo el diapiro de Maestu, aunque no lo he visto, ni tampoco puede decirse que corresponda a la misma zona. Sin embargo, no está muy alejado, y al examinar la hoja de Eulate (11) me chocó el parecido de la disposición de este diapiro con los que estamos tratando. Los materiales que lo constituyen son análogos a los de los diapiros que hemos reseñado, a saber: margas, yesos y carniolas del keuper y, como novedad sobre los otros, calizas con fósiles característicos del ladiniense medio o superior (datos tomados de la hoja de Eulate). En todo caso del muschelkalk, ya que este triás parece que deba ser clasificado más bien como de facies germánica. La posición de las unidades calizas dentro del diapiro, muestra los intensísimos trastornos a que han sido sometidas, ya que tan pronto están casi verticales como tendidas.

La hoja no explica al detalle las características tectónicas del afloramiento triásico, pero señala su carácter netamente diapírico.

Examinando el corte y el mapa vamos a razonar por nuestra cuenta. Las directrices tectónicas regionales van dirigidas de NNE. a SSO., casi de Este a Oeste; en cambio, las direcciones de las capas que rodean al diapiro, se adaptan a los contornos de éste, de modo que en dos de sus lados van dirigidas casi de Norte a Sur. Hacia Virgala Mayor, en el extremo Norte del diapiro, las direcciones indicadas en el mapa cortan casi normalmente al eje del sinclinal, que con dirección E.-O. casi pasa por aquel pueblo. Podría pensarse que allí las capas están afectadas por el empuje, pero el diapiro no ha llegado a romper. En

el corte, el conjunto simula un anticlinal. Si pensamos que la escala de verticales es cinco veces mayor que la de horizontales, vemos que el corte aparece por este hecho desfigurado (17). Las capas aparecen levantadas en el contacto del diapiro, pero en cuanto nos alejamos de él recuperan su posición normal. Con estos razonamientos queríamos subrayar el hecho de que el diapiro aparece desligado de las directrices tectónicas regionales. No afloran merced a ninguna falla o pliegue y, por consiguiente, puede asimilarse a los anteriores.

Nos parece, pues, que este diapiro de Eulate es otro ejemplo más que añadir a los citados como prototipos de chimeneas salinas (Salzstöcke) por Lotze, o sea, a aquellos que aparecen desligados de los accidentes tectónicos superficiales.

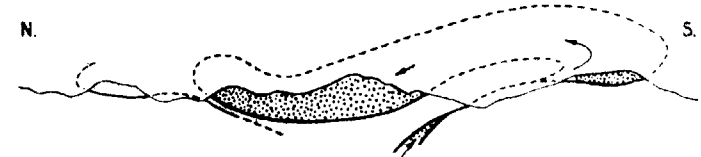
Mecanismo local.

Para explicar el mecanismo local de estos diapiros expone Lotze, primero, varios ejemplos de lo que llama «isleos autóctonos» (Autochtone Klippen) (16), eligiendo para ello varios casos ocurrientes en el Pirineo medio-occidental francés. No vamos a entrar en el detalle de su exposición, ya que nosotros nos interesamos ahora solamente por las chimeneas salinas de la zona cantábrica. Por lo demás, los esquemas de las figuras 9 y 10 exponen muy claramente la idea que rige la interpretación de estos fenóme-

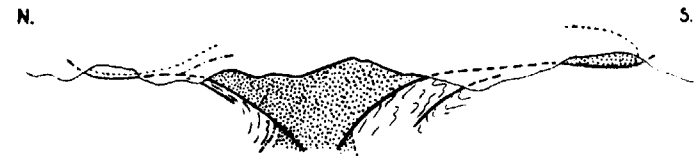
(17) El representar cortes geológicos con escala de verticales mayor que la de horizontales no entraña, a mi juicio, ninguna ventaja y sí muchos inconvenientes. Resulta especialmente injustificado cuando por proceder de una buena cartografía los cortes pueden ser tan exactos como se quieran obtener.



Corte del Macizo de Igouze (Pirineo occidental francés) Perfil: unos 20 kms.
p: Paleozoico. t: Keuper. c: Cretáceo



Interpretación de Viennot, (1927). El Igouze como isleo auténtico



Interpretación de Lotze (1934) El Igouze como "isleo autóctono" con expansiones marginales



Un "isleo autóctono" al Oeste de Bedous.

Fig. 9.—Isleos paleozoicos del Igouze. (Según Lotze, 1934.)

nos. Rechaza Lotze, razonándola como ilógica, la interpretación de Viennot (18) (fig. 9), y propone volver de nuevo a

(18) P. Viennot: «Recherches structurales dans les Pyrénées occidentales françaises».—Bol. del Serv. del Mapa Geol. de Francia, n.º 163. T. 30. París, 1937.

la primitiva interpretación, también apoyada por Jacob (19). El paleozoico, comprimido lateralmente por el conjunto triásico-cretáceo, es expulsado «volcánicamente» al exterior, vertiéndose hacia todos los lados, en forma de una inmensa seta alrededor de la chimenea de salida. De modo que la masa paleozoica, expulsada del yacente, queda descansando sobre el cretáceo en un área situada todo alrededor de la chimenea. La erosión actúa después, dejando «isleos autóctonos» de paleozoico flotando sobre el cretáceo y desconectados del punto original de emergencia. Parece un contrasentido usar el adjetivo «autóctono» en conjunción con la palabra «isleo» que va unida al concepto de «manto de cobijadura». En este caso especial es claro que se debe considerar y denominar «autóctona» una masa paleozoica que procede del yacente mismo de las capas más modernas, sobre las que descansa, y que sólo ha sufrido un desplazamiento vertical.

La explicación de estos «isleos autóctonos» reside, pues, empleando ahora las mismas palabras de Lotze, en que constituye «una zona de abovedamiento anclada en una pequeña base con núcleo autóctono y rodeado de una expansión marginal», o dicho en otras palabras, puede considerarse como una cobijadura bilateral con su raíz en el medio.

El esquema interior de la figura 9 representa un caso extremo de la misma área, en que los empujes laterales han llegado a guillotinar el tronco de la seta aislándola de su raíz auténticamente autóctona.

Es evidente que estos casos están claramente originados por un acto de puras compresiones laterales, como lo

(19) Charles Jacob: «Zone axial, versant sud et versant nord des Pyrénées».—S. Géol. de France, Livre Jubilaire. 1930.

justifican la forma de los afloramientos, las vergencias y toda la tectónica regional. La figura 10 explica esquemáticamente este mecanismo aplicado a un ejemplo ideal.

Pero en el caso de los diapiros cantábricos el mecanismo difiere, aunque se llegue a una disposición análoga.

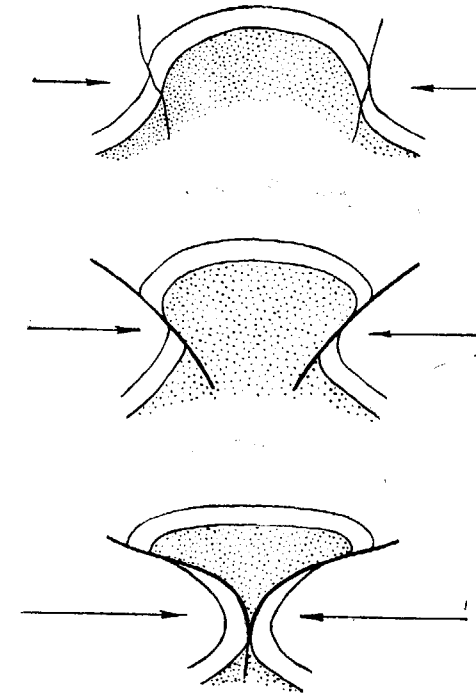


Fig. 10. - Esquema explicando la formación de «isleos autóctonos» por infraempuje de compresión de los flancos. (Según Lotze, 1934.)

Usando las palabras de Lotze, la tectónica, en el caso de la chimenea salida de Murguía, está condicionada por los movimientos verticales (fig. 11). Una masa plástica se eleva, abriéndose paso a través de su cobertura cretácea. Su dislocación se verifica inmediatamente bajo la acción de

las presiones del keuper, que no ejercen ningún efecto tectónico regional. El techo cretáceo se rasga y se divide en fragmentos, que rodeados por el keuper «flotan» sobre él. Estos «isleos» son aquí autóctonos, en el más estricto sentido de la palabra.

La dislocación del cretáceo por elevación de la masa salina es sólo explicable como un intercambio de espacio

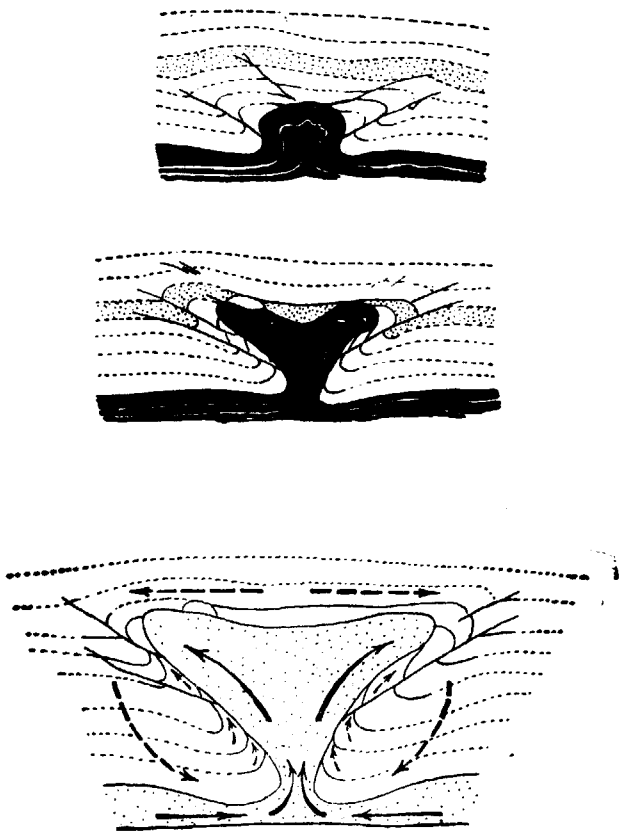


Fig. 11.—Explicación esquemática de las circunstancias originarias de la chimenea salina de Murguía (arriba). Movimientos cíclicos de las masas en el proceso de constitución de las chimeneas salinas cantábricas (abajo). (Según Lotze, 1940.)

entre la estrujada masa marginalmente ascendente y las rocas del techo empujadas hacia los lados y comprimidas. La fig. 11 explica esta especie de movimiento circulatorio de las masas pétreas, que justifica la ausencia de efectos regionales. Abstráigase mentalmente la masa salina, y ciérrense de nuevo las dobladas zonas marginales, y se obtendrá el estado primitivo, sin ensanchamiento ni estrechamiento.

La interpretación que dimos nosotros fué en sus líneas generales análoga. En la fig. 4 expusimos que, en cualquiera de los diapiros vistos por nosotros, los contactos marginales del triás se podían reducir a cuatro tipos, y en la fig. 12 expresamos el mecanismo de su origen por expansión del keuper al exterior en forma de seta.

La lámina III muestra uno de estos diapiros (Villasana de Mena) en sus proporciones reales, de modo que en ella se muestran, a la misma escala, el relieve del terreno, el diámetro del diapiro y los espesores y disposición de la serie estratigráfica.

Mecanismo regional (láms. I y IV).

¿A qué obedece la localización de estos diapiros? Ya hemos visto que no están situados a lo largo de ninguna línea de falla superficial. No sólo hay el hecho de que todos ellos no se alinean a lo largo de una misma fractura, sino que si se rodea su perímetro a muy escasa distancia, no sólo no se percibe señal alguna de falla, sino que no es posible detectar síntoma ninguno de la presencia de la chimenea salina. Cuatro de ellos, Salinas de Rosío, Villasana de Mena, Orduña y Murguía, están situados en una inmensa disposición isoclinal, en una extensísima tabla

de estratos de igual inclinación. Otros dos, el de Salinas de Añana y el de Maestu, en suaves sinclinales. Ninguno está colocado en una charnela anticlinal.

Nos vemos obligados en este caso a desprendernos de la idea habitual que nos liga los diapiros a los pliegues-fallas y a las fallas. Por eso se clasifican como prototipos de chimeneas salinas.

Edad de los diapiros.

Así pues, ¿se localizan a capricho u obedecen a alguna causa tectónica regional? Para analizar este mecanismo regional conviene tratar de localizar la edad de su emergencia.

Examinaremos uno por uno los terrenos en que afloran.

Salinas de Rosío: Contactos con cretáceo inferior (aureola), cretáceo superior, eoceno y oligoceno.

Villasana de Mena: Contactos con cretáceo inferior (aureola), y cretáceo superior hasta *turonense*.

Orduña: Todos sus contactos con el *turonense*.

Murguía: Contactos con cretáceo inferior y *turonense*.

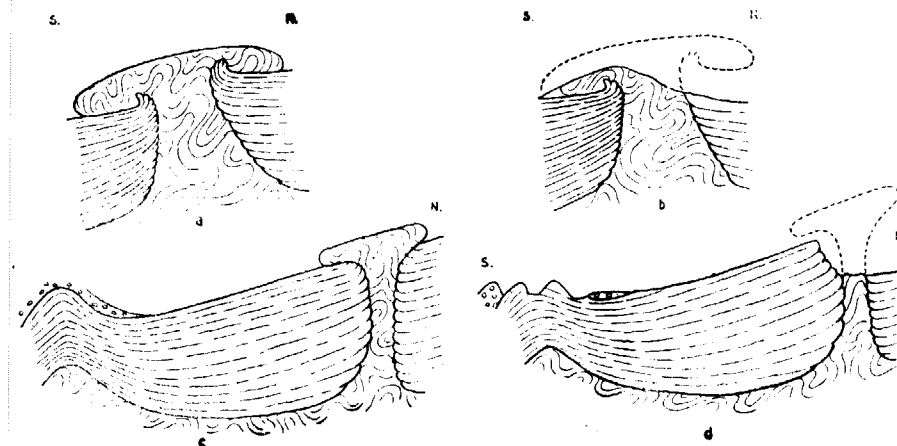
Salinas de Añana: Todos sus contactos con el oligoceno.

Maestu: Contactos con cretáceo superior, eoceno y oligoceno.

Dada la analogía que existe entre todos ellos, podemos admitir que son contemporáneos y puesto que el oligoceno es la formación más reciente con que están en contacto, es evidente que son post-oligocenos.

En esta región han actuado los plegamientos alpinos en dos fases, la pirenaica, ante-oligocena y débil, y la sávida, post-oligocena y muy intensa. Este hecho lo hemos demostrado, para esta zona, en la explicación de la hoja de Miranda de Ebro (fig. 14).

Admitiendo que son las presiones de fase sávida las que han puesto en movimiento el keuper, su desbordamiento se habrá efectuado sobre el oligoceno para los diapiros situados más al Sur, y sobre el eoceno o cretáceo superior más alto (*garumnense* o *maastrichtiense*) para los situados más al Norte y quizá para todos sobre el oligoceno, ya que la línea de su costa quedaba posiblemente,



a y c: el tiempo de producirse los diapiros

b y d: en los tiempos actuales

Fig. 12. Esquema representando el aspecto distinto que deben de presentar actualmente los diapiros que ubican en zonas muy erosionadas (c y d) y los que se sitúan en zonas poco erosionadas (a y b).

aunque poco, más al Norte del diapiro más nórdico, que es el de Villasana, ya que entonces aun no había comenzado a actuar la erosión. Con arreglo a esta hipótesis, los diapiros que están en contacto con el oligoceno (fig. 12 a y b) presentarían el aspecto correspondiente a la seta de efusión, pero los que estén en contacto con el *turonense* (fig. 12 c y d) presentarían secciones de la chimenea o tronco de la seta.

Así, por ejemplo, los de Salinas de Rosío y Salinas de Añana, que tienen contacto con el oligoceno en zonas donde la erosión ha respetado toda la serie sedimentaria, deben guardar en su disposición un aspecto más parecido al que tenía el diapiro al producirse.

Los de Villasana de Mena y Orduña volcarían originalmente sobre el oligoceno, o sobre el eoceno, pero después ha actuado muy intensamente la erosión, creando los grandes escalones de los valles de Mena y Orduña, y lo que vemos actualmente del diapiro correspondería a un corte de la chimenea y no al de la seta.

Pero hemos visto que los diapiros son análogos en todas sus características y sobre todo en disposición tectónica y dimensiones, que son las que nos interesan ahora. No podemos aceptar fácilmente que representan secciones distintas y entonces tenemos dos alternativas: o son muy recientes o siguen funcionando desde finales del oligoceno, es decir, han seguido vertiendo keuper al exterior, lo que los igualaría. La primera hipótesis llevaría consigo la siguiente consecuencia: los plegamientos sávicos expulsaron al keuper de las zonas más comprimidas, acumulándolo en otras, en forma de hernias. El peso enorme de los ingentes espesores sedimentarios es el que ha originado, posteriormente, la salida del keuper. El diapiro de Murguía nos suministra datos que a nuestro juicio son aún más terminantes en este respecto. Como no lo he visitado, me voy a valer de los datos suministrados por Lotze (figs. 5 y 11). Según sus cortes, los isleos autóctonos que flotan en el keuper son masas del turonense contiguo. Al ocurrir los plegamientos sávicos al final del oligoceno, hay que admitir que la zona en que enclava tuviera prácticamente completa su cobertura sedimentaria, es decir, donde actualmente está de manifiesto el turonense existirían entonces,

por encima, los miles de metros de espesor de formaciones turonenses más altas y senonenses, que la erosión ha ido eliminando luego hasta alcanzar el estado actual.

Si el diapiro se hubiera producido entonces no es explicable que el turonense apareciera en el centro del diapiro como isleo autóctono; la interpretación de Lotze, la única lógica, caería por su base. El isleo estaría constituido por las formaciones más altas del cretáceo superior, tapadera entonces del diapiro. Lo que actualmente vemos de él sería una sección de la chimenea mucho más baja, no la seta, como supone Lotze.

Si suponemos ahora que al finalizar la fase sávic no se produce la intrusión de keuper, sino que la erosión funciona hasta dejar al descubierto el turonense, si entonces se produce el fenómeno diapírico, la masa salina tiene como techo solamente el turonense y entonces es éste el que constituye los isleos autóctonos, de acuerdo con la explicación de Lotze.

De ser cierto este razonamiento, el fenómeno diapírico es verdaderamente reciente.

Procedencia del material.

Vamos a examinar una curiosa cuestión relacionada con el mecanismo regional. Estas chimeneas tienen un área considerable, y la profundidad hasta el keuper es también muy grande, por consiguiente su volumen y su relleno de keuper son enormes. ¿De dónde sale este keuper? Sin duda del drenaje de las zonas continuas, y vamos a tratar de calcular, aunque sea en forma vagamente aproximada, qué área ha tenido que suministrar este enorme volumen de keuper.

Tomemos para ello el de Villasana de Mena por su forma muy típica y su sección muy regular, casi circular (lám. III).

Según los sondeos efectuados alrededor de muchos diapiros o chimeneas salinas, sus paredes son en general casi verticales, o más bien suelen ensanchar hacia la base (fig. 17). Para comodidad del cálculo, y por hacer éste más conservador, asimilaremos la chimenea a un cilindro de siete kilómetros de diámetro. No parecería muy exagerado admitir que el espesor de formaciones atravesadas hasta el eoceno más alto o el oligoceno, estará cercano a los 10 kilómetros.

El espesor original del keuper no es conocido, debido a que estrujado en unas zonas, acumulado en otras, aparece como sumamente variable.

Tanto Ciry como Karrenberg, que en sus estudios regionales han tenido oportunidad de examinar varios afloramientos normales, estiman que puede variar entre cero y cien metros.

Ahora bien, para un espesor de 100 metros, el máximo admitido por aquellos geólogos, resulta que el diapiro habría absorbido el keuper en una zona alrededor de él de 35 kilómetros de radio. Esto vendría a suponer que la región quedaba drenada totalmente de keuper.

Son unos resultados francamente desconcertantes, por lo considerable de la cifra.

Habría que admitir, o bien que el diapiro se estrecha hacia la base, o bien hacia el centro, lo que en casos parecidos no parecen confirmar los sondeos, o que el espesor de keuper original era mucho mayor que los 100 metros. Sólo así podríamos reducir la cifra de 35 kilómetros.

No tenemos elementos de juicio suficientes para resolver este problema y nos limitamos a señalar su medida.

Condiciones sedimentarias de la localización.

Por otra parte, analizando Lotze las condiciones geológicas de la formación de las chimeneas salinas, para lo que utiliza numerosos y variadísimos ejemplos de todas las zonas del globo, dice que parece necesario que los depósitos salinos que las alimentan sean de potencia considerable. Otra condición es que, como ocurre en Alemania del Norte, las auténticas chimeneas salinas se encuentran solamente en zonas de gran «fondo» estratigráfico, es decir, donde se depositaron sobre las sales potentes espesores de sedimentos. En caso contrario la intrusión se verifica, a lo sumo, aprovechando «vacíos» de fractura.

Parecen, por consiguiente, ligadas las chimeneas salinas a aquellas zonas sujetas a profundos y largos procesos de hundimiento. Cita una serie de ejemplos del Rhin alto, de Tejas, Louisiana y Arkansas, en que se verifican estas condiciones. Al SO. de Europa forma el keuper chimeneas salinas solamente en las márgenes del gran geosinclinal cantábrico-pirenaico.

Pero se refiere directamente a la zona que nos interesa con las siguientes palabras: «En zonas de hundimiento estrechas y muy profundas, pueden crearse condiciones muy especiales, como, por ejemplo, las que rigen la repartición de las chimeneas salinas en la región sinclinal cantábrica, en cuya región central faltan en el espacio comprendido entre Bilbao y Vitoria, donde espesores enormes de cretáceo y terciario (superiores a los 10 kilómetros), demuestran, de manera clarísima, el gran hundimiento del fondo. En cambio, los diapiros, orlan esta depresión al SO. y Norte (fig. 13).

»Razonamientos paleogeográficos excluyen, sin embargo, la posibilidad de que no existieran yacimientos primarios de sales en las más profundas zonas del geosinclinal, así es que la localización de las chimeneas salinas hay que atribuir las, más bien, a una emigración de las sales desde el centro de la depresión hacia las márgenes, que pudo ser originada por la presión ejercida sobre las sales al depositarse muy rápidamente durante el cretáceo miles

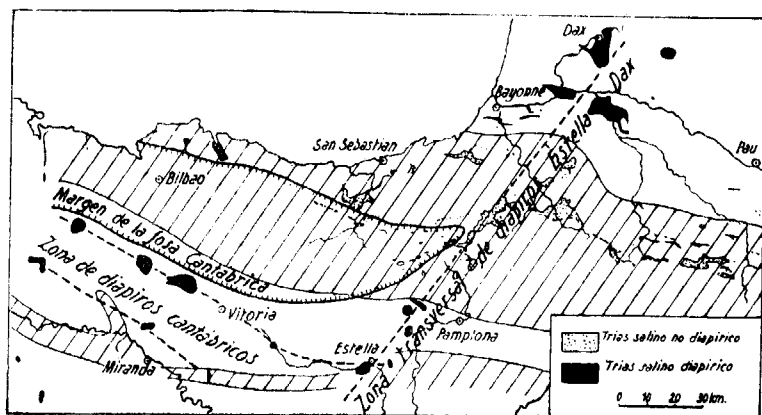
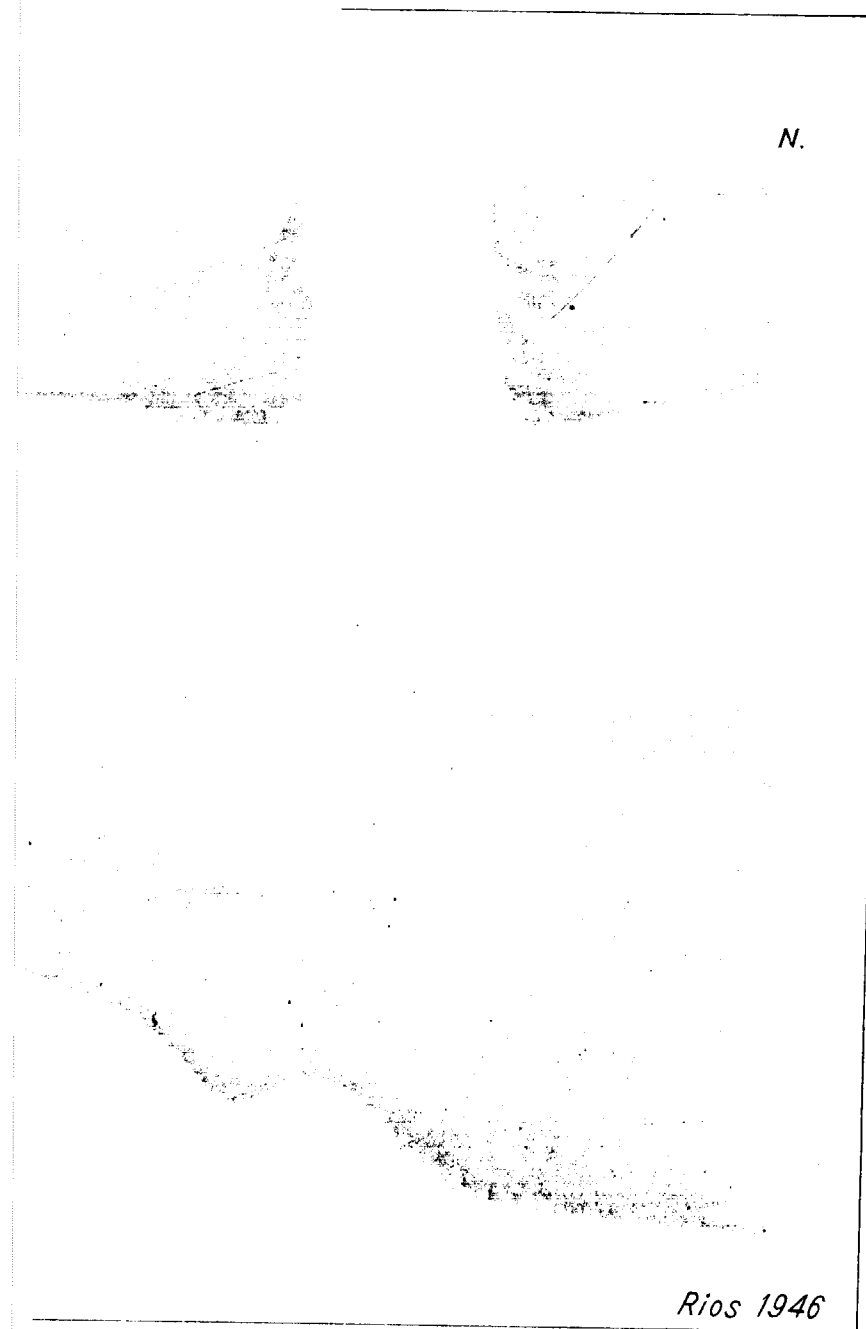


Fig. 13.—Repartición de las chimeneas salinas en función de la estructura geológica. (Según Lotze, 1939.)

Rayado: zona de plegamientos más intensos. Se ha dibujado la margen externa del surco principal cantábrico, en cuyo ámbito la potencia del cretáceo es sorprendente por lo extraordinaria. Se incluye en el trias salino desde el röt hasta el keuper.

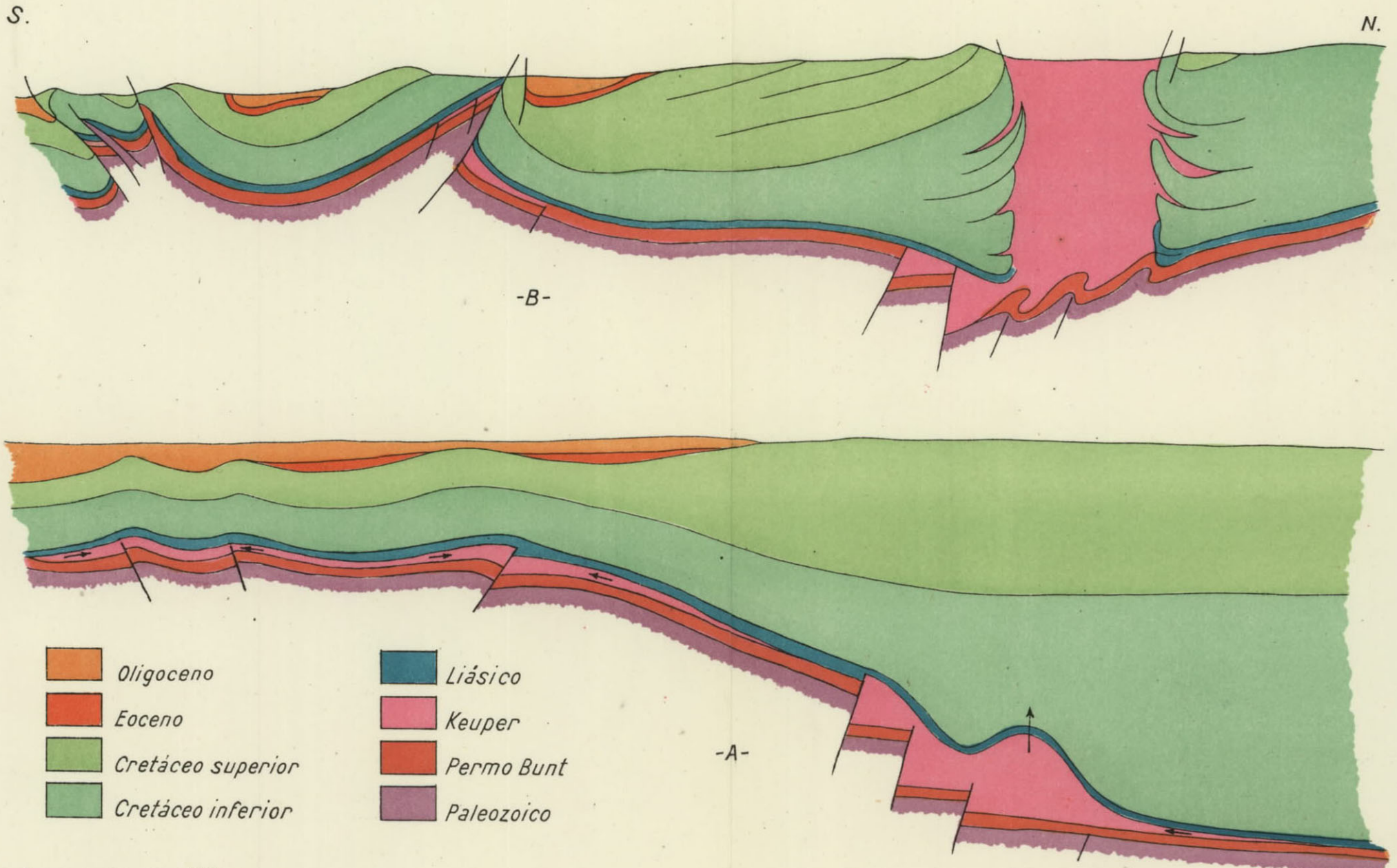
de metros de espesor de sedimentos y, quizá también, por la elevación de temperatura ocasionada por las importantes erupciones (ofitas). Esta emigración habría podido ocurrir, tanto más fácilmente, en la zona de rápido decrecimiento hacia el Sur de los espesores y consiguiente desequilibrio de las presiones isostáticas.»

Estas condiciones las habíamos señalado nosotros, con independencia de Lotze, ya que en nuestro trabajo sobre



Rios 1946

Tip. Lit. Coullout-Madrid.



Escala aproximada 1.200,000

Rios 1946



la zona cantábrica indicamos que los diapiros se localizan en la margen del geosinclinal cretáceo inferior-turonense, señalada por la rápida disminución hacia el Sur de los enormes espesores de estas formaciones, representándolo, además, gráficamente en una serie de cortes paleográficos, y lo hacemos de nuevo, de forma más expresiva, en las figuras de la lám. III.

Condiciones tectónicas de la localización.

Estas ideas de Lotze, nos aclaran de dónde puede proceder el enorme depósito de margas salinas y cómo puede acumularse y localizarse por emigración lateral, aunque sin embargo pudieran ser los tiempos de fases orogénicas los indicados para el transporte y elevación de esas masas. Según Lotze, Stille y otros autores, el estudio de las discordancias en las márgenes de los diapiros mostrarían que estas chimeneas salinas son el resultado de varios actos tectónicos, registrándose ascensiones salinas coincidentes con las diferentes fases.

En muchas cúpulas salinas, exploradas por abundantes sondeos, se ha podido comprobar el hecho perfectamente. Pero parece que dadas las circunstancias de los diapiros cantábricos no es posible comprobar esas circunstancias, ya que no es visible la sección vertical de las chimeneas de ninguno de ellos. La observación de esas discordancias no es, por consiguiente, posible en estos casos. Por otra parte, la historia geológica de la región no señala, a nuestro juicio, más verdaderas fases orogénicas que la pirenaica y sálica (fig. 14).

Lotze afirma que por lo menos la localización de los diapiros está ligada a otras fases orogénicas que no son ni

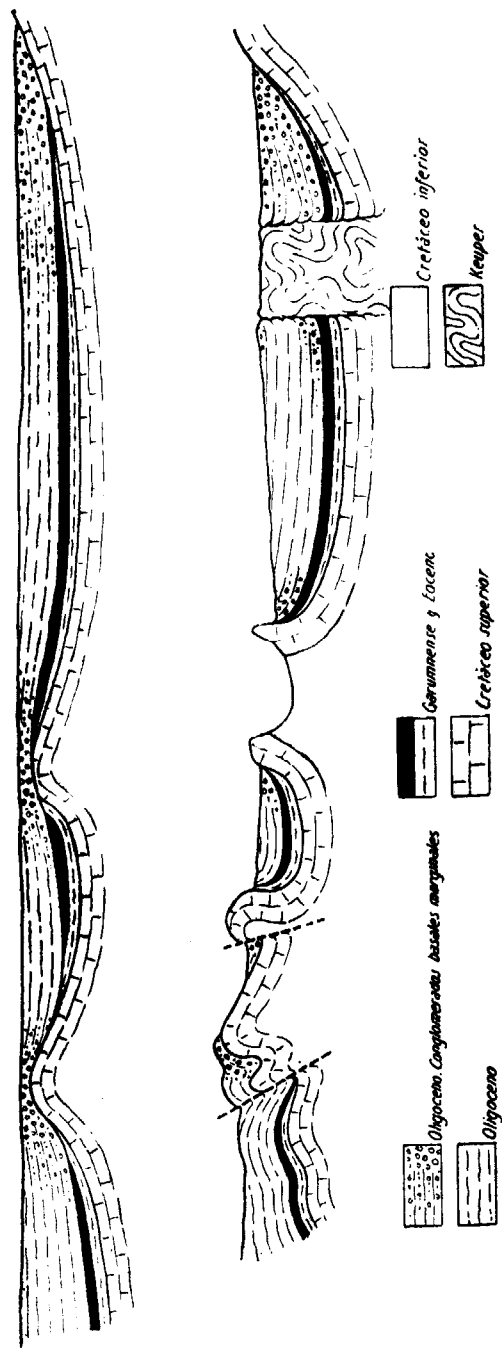


Fig. 14.—Esquema representativo de la disposición y circunstancias en la zona Obarenes-Salinas de Añana, después de los plegamientos de fase pirenaica (arriba), y en la actualidad (abajo). El diapiro figurado es el de Salinas de Añana. (Ríos, 1946.)

Localización de los diapiros cantábricos.

Mientras que en general los diapiros se sitúan en las zonas de violenta compresión, en esta zona, y como hemos señalado en varias ocasiones, el caso es muy distinto.

Subraya Lotze que no puede adscribirse la localización

la pirenaica ni la sálica. Se presentan, según él, movimientos en tiempos que si bien son en sí orogénicos, no lo han sido en los demás sitios de estas regiones, y pasa a señalar, en el diapiro de Villasana de Mena, discordancias entre el cretáceo inferior y superior, es decir, coincidentes con las fases austricas, sin que éstas hayan producido otras dislocaciones en esta región.

Resumiendo estas ideas, para aclararlas, viene a decir Lotze que movimientos localísimos de fase austrica han contribuido a la ubicación (no a la emergencia) de los diapiros. Es posible que haya sido así, pero nos parece poco sólidamente fundamentado y razonado, al menos con los datos que él expone. La idea de Lotze es que la gran movilidad de las sales se puede manifestar tectónicamente, incluso cuando la potencia de los empujes no alcanza a dislocar las rocas.

Y sigue en ello la idea del maestro Stille, quien si afirmó al principio que la ascensión de la sal debía siempre ligarse a alguna fase tectónica, habló luego (1924) de la posibilidad de movimientos ascensionales y deformaciones de las masas salinas en tiempos anorogénicos.

Al tratar de la edad de los diapiros cantábricos he señalado, por cuenta propia, la probabilidad de que estos diapiros fueran recientes, razonándolo por la forma y disposición de sus afloramientos.

de las chimeneas salinas a ninguna manifestación de desgarramiento de compresión. Las relaciones con las presiones orogénicas son poco claras, difusas y se manifiestan solamente en el hecho de que se alinean más o menos paralelamente a las directrices tectónicas. Añadimos nosotros que quizás influyen en esta disposición más las condiciones paleogeográficas que las tectónicas (lám. III). Ambas son de la misma dirección.

Funcionamiento post-orogénico de los diapiros.

Escoge ahora Lotze el diapiro de Salinas de Añana, como apropiado para demostrar que la emersión de las masas salinas se continúa post-orogénicamente, es decir, que constituidos orogénicamente continúa su desarrollo en etapas anorogénicas.

Sus razonamientos son los siguientes: este diapiro (figura 7) aflora en medio de las capas terciarias pertenecientes a una zona débilmente dislocada, que se sitúa entre los pliegues cantábricos al Norte y los Obarenes al Sur. Las capas del keuper aparecen, según él, con marcada discordancia bajo bancos de conglomerados de un terciario moderno, que poco más al Norte se apoyan sobre el cretáceo superior. Las cabalgaduras marginales del keuper se manifiestan, por consiguiente, como trastornos considerables bajo la superficie de discordancia, así es que el origen de la chimenea salina ocurre en una fase orogénica, que por las circunstancias regionales se puede fijar con bastante exactitud.

La potencia del terciario transgresivo es considerablemente más reducida en la zona del diapiro que en las inmediatas al Norte y al Sur. Las líneas de igual potencia

de sedimentos terciarios rodean concéntricamente el diapiro y la reducción de espesores se verifica de dentro afuera. Esta reducción de la potencia del terciario sobre la cúpula no puede explicarse sino como una consecuencia lógica de la existencia de una masa emergida, resultante de la continuada elevación del diapiro con relación a la zona circundante. Puesto que un gran espesor de la serie terciaria está afectado por la disminución de potencia, es la prueba de que el movimiento post-orogénico se ha continuado durante largo tiempo, y con tal velocidad que no ha sido compensado por los efectos de erosión y disolución.

La idea es ingeniosa, y no choca por su fondo con la nuestra, pues ya hemos dicho en varios sitios y ocasiones que es muy probable que los diapiros funcionen de forma, aunque muy lenta, casi permanente. Pero nos parece que no es ésta la explicación de este caso. Este diapiro lo conozco muy poco. Sólo por una fugaz visita de mera curiosidad aprecié ligeramente sus circunstancias estratigráficas. Pero al estudiar los datos de mis compañeros para la confección de la hoja de Miranda, las circunstancias me parecieron, a partir de las indicaciones de los Sres. Mendizábal y Comba, distintas de las expresadas por Lotze. Las capas, en algunos puntos, están verticales, e incluso volcadas. Ciertamente es que otros puntos están poco inclinados, pero en todo caso este diapiro, por sus contactos periféricos, se puede asimilar al de Salinas de Rosío.

Estoy conforme con las discordancias que señala Lotze, y que son las mismas que figuran en la hoja de Miranda de Ebro en sus cortes y mapas. El oligoceno es discordante con el cretáceo. Pero decir que el keuper es discordante con el oligoceno no demuestra nada; el keuper está fundamentalmente trastornado, revuelto, tanto que, por exceso

de discordancia, casi resulta inútil emplear ese término. En estas zonas, keuper es sinónimo, más que de discordancia, de contacto anormal, y aquél no es concepto útil para obtener consecuencias.

El terciario que rodea el diapiro consiste en los conglomerados basales-marginales oligocenos, pues estamos en Salinas de Añana en el mismo borde de la gran depresión terciaria. Hacia el interior pasan gradual y rápidamente a margas y areniscas, y el diapiro está justamente en la zona de transición. No hay nada que indique la presencia del diapiro cuando se depositaban los estratos oligocenos y, ciertamente, la calidad de las escandalosas margas del keuper hubiera debido influir en la de los sedimentos oligocenos circundantes, en su composición e incluso en su color. Por otra parte, cosa tan blanda y deleznable como las margas salinas, no parece que hubiera sido obstáculo al poderoso molino de los conglomerados oligocenos.

Una prueba decisiva, aunque yo no la tengo, sería la presencia de ofitas entre los cantos de los conglomerados. Así es que un examen de los conglomerados debe dar la comprobación.

Estos deberían demostrar una abundancia de cantos de ofita en las proximidades del diapiro.

La tesis de Lotze es, pues, que el diapiro de Salinas de Añana ha emergido antes del oligoceno, y aunque no especifica la fase orogénica que los origina, suponemos que es la pirenaica (ante-oligocena). Luego continúa la emersión, y simultáneamente se deposita el oligoceno, que salva el obstáculo por una reducción de espesores. Al final del oligoceno una fase débil abomba sus sedimentos por empuje vertical del diapiro. Pero esto es contradictorio con la historia geológica de la región (explicación de la hoja de Miranda), que indica palmariamente (fig. 14) que los movi-

mientos pirenaicos (ante-oligocenos) son débiles, y los sávicos (post-oligocenos) son intensos.

No obstante, no por eso dejamos de creer en el rejuvenecimiento, incluso en el funcionamiento permanente de los diairos mientras disponga de keuper de que alimentarse.

Hablando recientemente con mi compañero y jefe señor Mendizábal de estos temas, me hizo saber que los trabajos que realizan para la hoja geológica de San Sebastián, a escala 1 : 50.000, han mostrado recientes desviaciones de los ríos que cerca de la bella ciudad afluyen al Cantábrico. La causa parece ser un levantamiento de las masas de keuper, que constituyen en algunas zonas el fondo de sus valles. El alzamiento sería probablemente cuaternario; la cuestión está aún en estudio, y el examen de las terrazas pudiera arrojar mucha luz sobre este punto.

Manantial energético y motivo de la localización.

Examina luego Lotze los manantiales energéticos motivadores de la ascensión diapírica. Rechaza, desde luego, que sea debida a procesos de disolución-cristalización, o sea, a fuerzas químicas y moleculares procedentes de las mismas sales, como han sostenido varios autores.

Para él es debido al efecto combinado de las presiones tectónicas y de la gravedad. El predominio y desigual participación, en unos y otros casos, de los empujes tangenciales tectónicos y los verticales gravitatorios, son los que dan al fenómeno diapírico su portentosa variedad. En el caso de estos diairos quizás es, según Lotze, el fenómeno gravitatorio el único que ha ejercido influencia. Ya hemos expresado nuestra opinión de que es un fenómeno

relativamente reciente y posterior a la fase sávica, la más intensa de esta región.

Quizá la figura de la lámina III nos da una explicación de cómo se ha producido. La fuerza de la gravedad obliga a los enormes espesores sedimentarios que gravitan sobre el keuper ejerciendo una presión fantástica. Dentro de la masa plástica del keuper la presión se descompone en dos componentes, una normal al fondo, y otra, que dirigida en el sentido de la estratificación, obliga al keuper a desplazarse como un fluido denso, ascendiendo sobre su yacente de buntsandstein.

La rapidísima disminución de espesores cretáceo inferior-turonense hacia el Sur, marca muy agudamente el borde de una profundísima fosa cantábrica, de rápido descenso y colmatación sedimentaria igualmente rápida, tanto que durante casi todo el cretáceo inferior conservan los sedimentos facies de flysch. Una dovela paleozoico-triásica se hundía, separada por una o varias fallas del macizo estable meridional, lo que producía un enorme escalón en el yacente del cretáceo. Al tropezar las margas con este escalón, y encontrarse además con **desequilibrio isostático**, debido a la rápida disminución de sedimentos superpuestos, están obligadas y en condiciones óptimas para buscar una salida al exterior.

Para Lotze, cuando las masas salinas son intrusivas en zonas de fractura, sin que pueda atribuirse a una tectónica de compresión, así como en las zonas de chimeneas salinas con tectónica débil e indecisa (como esta que nos ocupa) se tiene que aceptar que es la gravitación la principal originadora de la intrusión. A la misma conclusión habíamos llegado nosotros en nuestro trabajo sobre la región cantábrica.

Lotze cita que Arrhenius había señalado esta probabi-

lidad en conexión con el anormal y pequeño peso específico de las sales, que debido además a su potencia fluidal, tiene tendencia a la ascensión, obedeciendo a sencillas leyes hidrostáticas. En el fondo, la misma cuestión de la isostasia geofísica, a otra escala y con otros materiales. Aplicado a las funciones salinas el principio isostático, confirma la tendencia a la emigración, bajo las masas pesantes, del centro de los bordes, alcanzándose el equilibrio solamente cuando la acumulación de masas salinas ejerce un esfuerzo equivalente al de las masas pesantes, o cuando la energía se libera por encontrar un camino al exterior, lo que debido a la gran presión ejercida puede verificarse muy lentamente.

Como la presión ejercida depende de la masa pesante, se comprende que es preciso un mínimo muy considerable de espesor de sedimentos para que se produzca el fenómeno.

De aquí que sea necesario que se presente este tipo de diapirismo en casos como el actual, en que un enorme espesor de sedimentos se reduce rápidamente. Aquéllos expulsan el keuper hacia los lados; al encontrar el escalón paleozoico, coincidente, además, con la rápida reducción de espesores, que originan una banda de menor resistencia, rompe por allí al exterior, restableciéndose lentísimamente el equilibrio; es decir, el diapiro sigue funcionando mientras quede depósito de keuper que sea capaz de continuar alimentándolo.

III

LOS DIAPIROS NAVARROS

(Lám. IV)

En realidad, el título de esta segunda parte rebasa los límites de su contenido, pues sólo vamos a estudiar en ella los de Estella, Lácar, Salinas de Oro, Olo y Atondo, siendo así que en la región navarra existen otras manifestaciones diapíricas.

Al reunir los datos regionales para el estudio de las chimeneas salinas cantábricas, hemos observado que son muy parecidas las circunstancias de localización de estos diapiros navarros y las de los cantábricos y que existen, además, notables analogías en lo que se refiere a las circunstancias de geología regional que tanto influyen en el mecanismo de las cúpulas salinas, por lo que es admisible suponer que se trata, como en el caso de los diapiros antes estudiados, de auténticos domos salinos, con una motivación análoga de tipo isostático. Es decir, que junto con los anteriores, completan el total de manifestaciones salinas debidas a un mismo conjunto de razones paleogeográficas y tectónicas.

Las restantes zonas diapíricas navarras corresponden a los tipos cuyo origen es debido fundamentalmente a empujes tangenciales.

Hemos de advertir que no conocemos ninguno de los

diapiros navarros mencionados, sino por sus referencias, en general escasas e incompletas. No los hemos estudiado en el terreno. Quede, pues, claramente sentado que se trata de meras especulaciones acerca de la posibilidad, a mi juicio probabilidad, de que sean la continuación y remate del fenómeno que empieza por el Oeste con los diapiros de Salinas de Rosío y Medina de Pomar.

DIAPIRO DE ESTELLA.—Está situado casi en la misma línea que une los de Salinas de Añana y Maestu, y al mismo tiempo, casi en línea recta con los de Lácar, Salinas de Oro, Ollo y Atondo. Ambas alineaciones se encuentran, pues, en Estella, formando un abierto ángulo.

Este diapiro está descrito, en parte, en la hoja de Allo (20), ya que la parte superior enclava en la de Estella, que aun no está publicada.

Como característica especial, presenta la peculiaridad de aparecer entre la revuelta masa del keuper con su cortejo de ofitas, grandes bloques de gneis y pizarras paleozoicas.

Materiales del diapiro.—Está constituido, principalmente, por materiales triásicos en que predominan las calizas magnesianas cavernosas, con todos los caracteres de las carniolas triásicas de confusa estratificación, debida no solamente a la conocida característica primaria de este tipo de rocas, sino al desorden en que suelen presentarse los materiales de los diapiros. Existen, además, margas de colores claros, acompañadas frecuentemente por yesos, y varios asomos de ofitas. La presencia de materiales salinos se manifiesta por la salinidad de algunos manantiales. Pare-

(20) «Hoja geológica de Allo (n.º 172), a escala 1:50.000».—Instituto Geológico y Minero de España. 1945.

cerían existir escasos retazos de muschelkalk con restos indeterminables, pero que quizá son *Gervilleias* y *Naticas*, contenidos en unas calizas tableadas. Restos de pudinguillas de elementos cuarzosos se podrían atribuir al bunt. Anotemos la presencia, muy probable, de muschelkalk y bunt como elementos de juicio de gran interés para los razonamientos que haremos más adelante.

Pero lo curioso de este diapiro es la presencia de rocas en bloques sueltos, pertenecientes, indudablemente, a formaciones mucho más antiguas. Estas son:

Estrato cristalino en asomo de unos 50 m.² de superficie, completamente rodeado de rocas triásicas y constituido por gneis biotítico, de estructura gneísico-cuarcítica; granito con dos micas, predominando la muscovita y textura holocristalina granítica; paragneis plagioclásico con neta textura gneísica.

Paleozoico dudoso, en un asomo distinto del anterior y extensión parecida, que se clasifica como pizarra cuarzosa de aspecto paleozoico, constituida por elementos detriticos, sobre todo por granos de cuarzo en bandas, y feldespato descompuesto.

Márgenes del diapiro.—Dicen los autores de la hoja de Allo (cuyos son estos datos, ya que nosotros no conocemos el diapiro), que sus bordes, levantados, están constituidos por estratos cretáceos, eocenos y oligocenos.

Por la descripción que hacen del cretáceo, éste estaría constituido por el conjunto cenomanense-wealdense, con facies flysch, y sería de características parecidas al de la faja NO. de nuestro mapa (lám. IV) (Espinosa de los Monteros-Ordunte-Amurrio), en que hay un cenomanense potente cuajado de orbitolinas, y debajo unas facies wealdense con cuñas marinas con orbitolinas, constituida por margas más o menos arenosas, con frecuencia micáferas,

de color oscuro y textura laminar pizarreña; areniscas pardo-rojizas y arcillas pizarreñas con lentejones de caliza ferruginosa. Es decir, sería un cretáceo inferior de edad albense y facies wealdense o cantábrica, arcillosa y oscura, en oposición a la facies albense o ibérica, más limpiamente arenosa, de colores blancos, rosados y violáceos, de tonos vivos y alegres.

En el mismo ángulo NO. de la hoja, el borde del diapiro estaría constituido por calizas que quizá son ya turo-nenses. El eoceno está representado por un retazo calizo, cuyo contacto con el cenomanense sería normal, según los autores de la hoja, aunque esto parece extraño, a nuestro juicio, dada la historia paleogeográfica regional. Su edad no está muy clara; lutecienses a juicio de los autores de la hoja, y esto nos parece lo más probable; por los escasos y mal conservados restos fósiles, podrían ser atribuidas, con dudas, estas calizas al oligoceno e incluso quizás al mioceno, según Gómez Lluca. La mala calidad de los fósiles impide hacer atribuciones absolutas. Su posición es casi vertical.

El oligoceno presenta el clásico aspecto que tiene en la cuenca del Ebro, con margas, arcillas, molasas y pudin-gas. Sus capas, que están subhorizontales en las cercanías del diapiro, pasan bruscamente a la vertical en su inme-diata proximidad, repitiéndose aquí el fenómeno tantas veces señalado de las chimeneas salinas.

Es lástima que sean tan escasos los datos de direccio-nes y buzamientos en las hojas de Viana y Allo, porque nos impide darnos cuenta exacta de la disposición del diapiro.

De la explicación de la hoja de Allo se desprende que el diapiro de Estella constituye el remate oriental del anti-clinal de Aguilar de Codes.

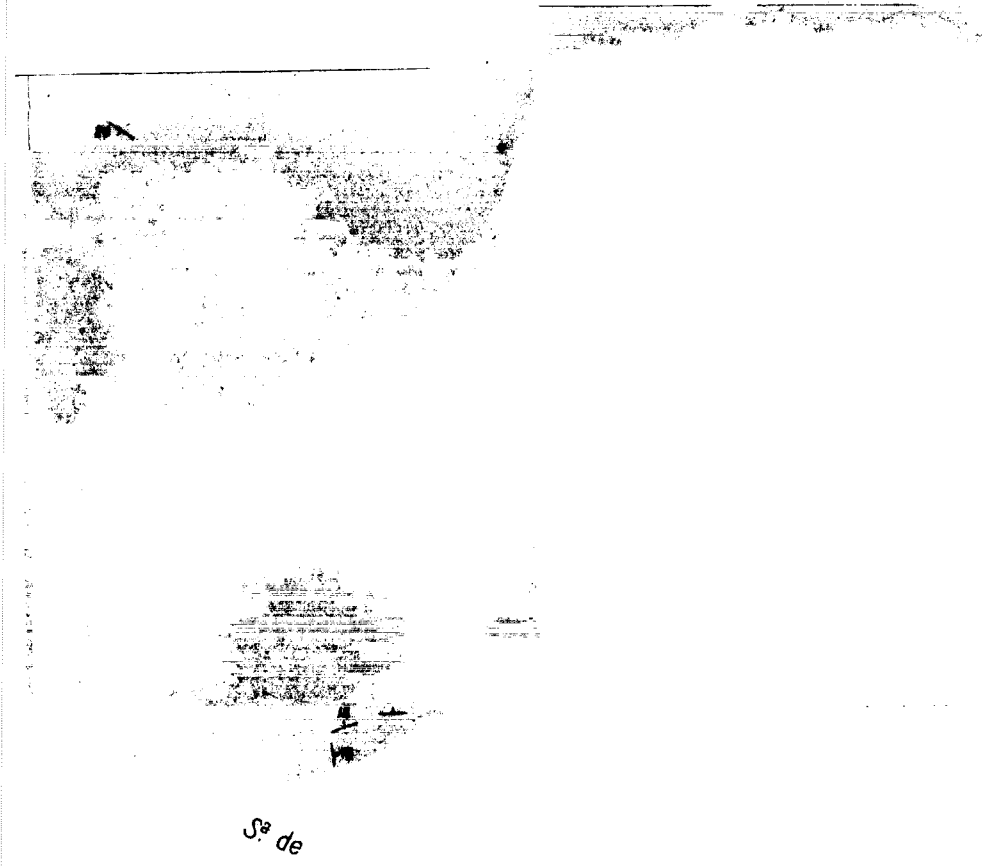


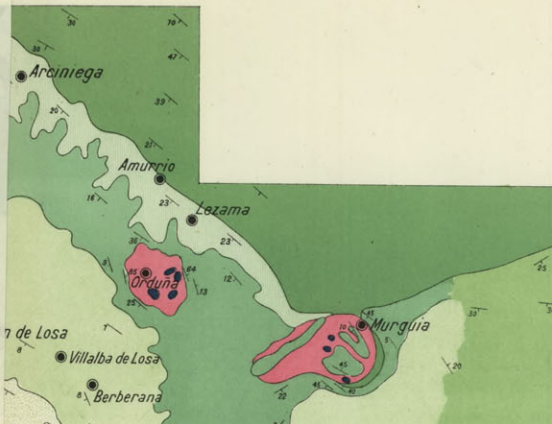
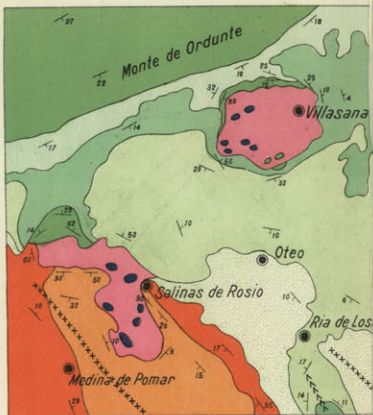
CON IS

de Salinas de Rosío, Estu, Estella

según datos de Lotzko, Almela y Rios

OBSERVACIÓN: Los datos repletos por no existir sobre ellos.





MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA CÁNTABRO-NAVARRA CON LAS CHIMENEAS SALINAS DIAPÍRICAS

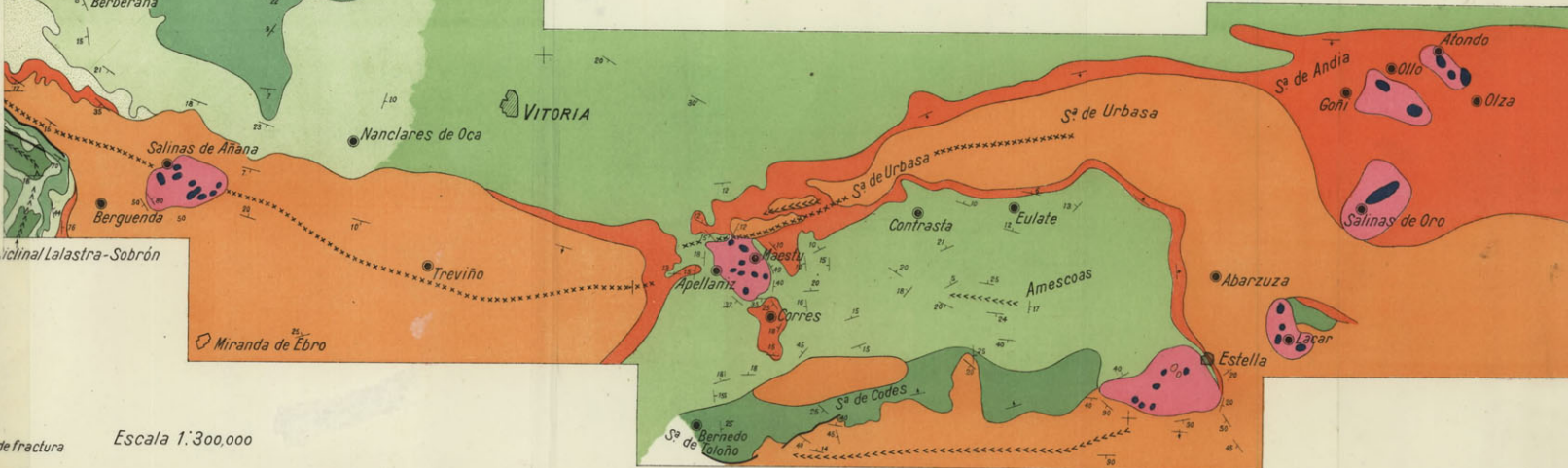


de Salinas de Rosío, Villasana de Mena, Orduña, Murguía, Salinas de Añana, Maestu, Estella Lácara, Salinas de Oro, Goñi y Atondo.

según datos de Lotze, Schriell, Del Valle, Mendizábal, Cincúnegui, Comba, Garrido, Almela y Rios
Compuesto por J.M. Rios 1946.

OBSERVACIÓN: Los datos referentes a los diapiros navarros más orientales y su región, son muy incompletos por no existir sobre ellos más que una cartografía geológica muy rudimentaria.

- Oligoceno y Mioceno
- Eoceno
- Otros tramos } Senonense y Garumnense
- Calizas
- Turonense calizo
- Turonense margoso
- Cenomanense y Cretáceo inferior (facies)
- Keuper
- Estrato cristalino
- Ofitas



Escala 1:300,000

----- Anticlinal
 xxxxxx Sinclinal
 - - - - - Fricción de fractura

El pliegue de Aguilar de Codes tiene, en la hoja de Viana, el clásico aspecto de los violentos accidentes salinos del oligoceno. Debe ser un anticlinal, como tantos otros de Cataluña, muy agudo y de poca anchura, relativamente; en su charnela afloran los yesos. En cuanto a la disposición tectónica de los bordes del diapiro, estarían éstos levantados, con buzamientos verticales a veces, pero casi siempre inclinados hacia la periferia.

Hay un detalle en que conviene fijar la atención. Todo el borde Sur del diapiro está constituido por el oligoceno. Este está horizontal en el cerro de Monjardín, a menos de un kilómetro del diapiro e igualmente en las laderas del Montejurra, pero se colocan bruscamente en posición vertical en las cumbres, poco más o menos a un kilómetro de la margen diapírica.

Por estos detalles más bien nos parecería que el diapiro de Estella es igualmente una auténtica chimenea salina, como las estudiadas anteriormente, y que su relación con el pliegue anticlinal de Aguilar de Codes es casual, o al menos accidental. Por falta de medidas en el mapa no podemos darnos cuenta de si realmente el anticlinal llega hasta el diapiro, pero aceptamos, como es natural, los hechos expresados por los autores de la hoja.

DIAPIRO DE LÁCAR (21).—De contorno complejo, a causa de la diversidad de formaciones que la rodean, es una mancha triásica que se manifiesta a lo largo de la ribera derecha del río Salado, en los cinco últimos kilómetros de su curso por el valle de Yerri, y dentro del cual están

(21) Las descripciones de este y los siguientes diairos han sido tomadas del trabajo de D. Pedro Palacios: «Los terrenos mesozoicos de Navarra». —Bol. del I. G. y M. de España. Tomo XX, 2.^a serie. 1919.

situados los pueblos de Lácar, Lorca y Alloz. Limítanla por el Sur y el Oeste las molasas miocenas de los llanos de Villahuerta y Montalbán, que hasta aquí avanzan apoyándose en marcada discordancia sobre los materiales del triás, y por sus lados Este y Norte confronta con las rocas oligocenas, si bien en algunos trechos ocultan el contacto de ambas formaciones pequeños rodales de sedimentos miocenos y detríticos de origen reciente, acumulados junto a la vaguada del mencionado río.

Las calizas dolomíticas, ya compactas, ya más frecuentemente cavernosas, adquieren gran desarrollo entre el pueblo de Lácar y el pie del monte Esquinza, acusando en sus estratos buzamientos dirigidos casi invariablemente al tercer cuadrante. El yeso abunda también en las margas abigarradas de los alrededores de Lácar, lo bastante para ser objeto de aprovechamiento, y se encuentra, asimismo, en el término de Alloz, donde suelen ofrecer color rojo y contener cristallitos de cuarzo hematoides. Tres asomos de ofita acompañan, además, a los materiales triásicos: uno, a poniente de Alloz, otro, junto a la granja de este nombre en dirección a Lorca y, otro, más importante, cerca de Lácar, a la izquierda de la carretera de Estella a Puente la Reina.

Según el mapa de D. Pedro Palacios, el triásico de este diapiro estaría en contacto, al NE. de ello, con unas masas cretáceas y eocenas.

Se trata de cretáceo inferior en su facies flysch cantábrica y lo constituyen calizas margosas y arenosas de color gris ceniciento, que contienen orbitolinas. A estas calizas, que con gran inclinación se hunden hacia el Norte, se superponen otras en que abundan los numulites. El espesor que en conjunto componen las calizas de ambas edades pasa de 300 metros, y sus afloramientos resaltan en gran-

des crestones alineados de Este a Oeste en un trayecto de cerca de dos kilómetros, transversales al curso del río Salado, que a través de ellos se ha abierto angosto paso por el boquete de Zarrabia. Sobre las calizas numulíticas descansan, por el lado septentrional, los estratos miocenos del collado de Illarre, mientras que las de facies aptenses están por el Sur en contacto anormal con areniscas oligocenas.

Parecerían atribuibles a arrastres efectuados por el material diapírico en su ascensión, ya que el diapiro enclava en un contacto eoceno-oligoceno.

DIAPIRO DE SALINAS DE ORO.—Esta mancha triásica, cercada por escuetos crestos de calizas numulíticas, se extiende al Sur del valle de Olo, ocupando gran parte de los términos de Salinas de Oro y sus aldeaños Izurzu y Muniain. Margas de colores generalmente claros, con el acompañamiento habitual de yesos y carniolas, son los elementos que en ellas predominan; a las margas se asocian algunas capas de dolomía, que en sus afloramientos se muestran levantados, casi verticalmente, y acusan buzamientos variables entre el Sur y el Oeste. Una serie de mogotes y cabezos, formados por la ofita y alineados de SO. a NO., se destaca entre los materiales triásicos en la mitad meridional de esta mancha. El yeso abunda extraordinariamente en las margas de Izurzu, donde viene explotándose en cantidades considerables. Junto a la charca de Invernaburu, al NO. de Salinas, lo hay de color rosado, y en él suelen verse envueltos diminutos cristales de cuarzo, a veces con tal profusión que le dan la apariencia de un verdadero conglomerado, en que el sulfato cálcico hace las veces de cemento; varias fuentecillas de agua salada nacen de las margas, en el comienzo del barranco de la

Salera, que surca los materiales triásicos de Norte a Sur, y de un pozo poco profundo se obtienen caudales suficientes para el funcionamiento y explotación de las Salinas de Oro.

DIAPIRO DE OLLO.—Asoman en él las margas del keuper bajo bancos de caliza numulítica que la cercan por todos lados. Con ella se asocian también, a juzgar por los indicios que se observan en la tierra y en las arroyadas que surcan el suelo, dolomías y yesos con Jacintos de Compostela. Las masas se encuentran, además, impregnadas de cloruro sódico, al menos en las inmediaciones de Arteta, donde éste es objeto de explotación. La ofita acompaña también a los materiales triásicos del valle del Olla, donde se manifiesta con afloramientos de relativa importancia. Sobre el mayor de ellos está situado el pueblo de Ulzurrun, y el otro resalta un pequeño altozano próximo a Arteta.

DIAPIRO DE ATONDO.—Las margas abigarradas muestran gran desarrollo en la mitad occidental de esta mancha y envuelven masas de yeso blanco y rojo, calizas magnesianas, ya compactas, ya cavernosas; afloran también repetidamente entre margas en los alrededores de Leye y en el monte de Yarte, inclinadas, con buzamientos hacia el primer cuadrante, y con marcada discordancia estratigráfica respecto de las eocenas adyacentes. Varias zonas de ofitas aparecen intercaladas en esta serie, esencialmente caliza, y otra de igual naturaleza, pero mucho más importante, se destaca al Sur de Atondo, extendiéndose desde aquí al término de Anoz.

Geología regional y posición de los diapiros con relación a la misma.

Enlazaremos al Oeste de Vitoria la descripción regional de esta región, que no conocemos más que por los datos de otros geólogos, con la de los diapiros cantábricos.

Hacemos notar que el diapiro de Maestu, cuya descripción hemos incluido entre los cantábricos, se debería incluir, por su posición en la tectónica regional, más lógicamente entre los navarros. No tiene mucha importancia, sin embargo, este distingo, porque todos ellos, cantábricos y navarros, forman parte, a nuestro juicio, del mismo conjunto tectónico.

El enlace de ambas zonas por la llanada de Vitoria, lo estudia y representa esquemáticamente C. Sáenz (22). Su estructura, aunque movida en el detalle, es sencilla. Hablando de esta meseta alavesa, dice del Valle (23) que consiste en una estructura casi tabular integrada en sus afloramientos superficiales por los tramos superiores del cretáceo, el eoceno y el oligoceno, que se presenta en capas sub-horizontales. En realidad se puede considerar en conjunto como una potentísima masa de sedimentos casi horizontales. La gran potencia de los sedimentos está bien comprobada, ya que el sondeo de Vitoria llegó a 1.021 metros de profundidad sin salir del senonense, y el

(22) Clemente Sáenz: «Notas acerca de la estratigrafía de la parte occidental del país vasco y NE. de la provincia de Burgos».—Las Ciencias. Año V., núm. 1. 1940.

(23) A. del Valle de Lersundi: «Descubrimiento de la cuenca potásica de Navarra».—N. y C. del I. G. y M. de España, n.º 4. 1932.

de Gastiain a 1.610 metros sin salir de las margas turo-nenses o penetrando apenas en el cenomanense.

Esta llanada de Vitoria es, pues, la prolongación de la enorme disposición monoclinial cantábrica. La formación de facies wealdense (cenomanense incluido) continúa al Norte de ella con características parecidas. Son areniscas pardas, margas y calizas negruzcas (9) que constituyen una verdadera facies de flysch; representan parte del «flysch negro» albense de Stuart Menteth y constituyen la parte superior del conjunto wealdense-cenomanense. No conocemos con certidumbre sus espesores, pero todo parece indicar que si no tan grandes como en Santander y Vizcaya, son todavía enormes. Las barras calizas engrosan notabilísimamente desde Santander a Guipúzcoa, y constituyen ahora enormes macizos de montañas, constituidas por calizas con orbitolinas y requienias, situados al Norte de la zona de diapiros navarros, constituyendo las masas de edad aptense.

En cuanto al cretáceo superior hay que advertir que en esta zona no se ha hecho nunca la separación del turo-nense y el senonense. Alguna disminución de espesor debe de experimentar con respecto a la que tiene más al Oeste, porque hemos visto claramente cómo al Norte de Salinas de Añana (1) varios de los tramos calizos y margosos, perfectamente individualizados al Oeste, se reúnan en uno solo de menor espesor, y este fenómeno debe verificarse en mayor o menor escala para todo el cretáceo superior, aunque sin duda el conjunto, como indican los resultados de los sondeos mencionados, conserve una potencia que debe medirse aún por miles de metros.

Así pues, en resumen, se observa una disminución de espesores de Oeste a Este, sin que dejen de ser todavía, enormes. Los tramos calizos del cretáceo inferior aumen-

tan considerablemente su importancia. El cretáceo superior se simplifica.

Al Sur de la llanada de Vitoria se sitúa el sinclinal de Treviño, que forma parte de la depresión terciaria de Miranda de Ebro (10).

Está constituida por diversas formaciones eocenas y oligocenas. Aquéllas se inician por los conocidos bancos de calizas con numulites y alveolinas que vienen desde el Oeste, con débiles espesores, y termina por formaciones salobres-continetales. El oligoceno, bajo el mismo aspecto general que el de toda la cuenca del Ebro, tiene conglomerados marginales en las zonas donde ha habido plegamientos alpinos de la segunda fase pirenaica.

Al SE. de la llanada de Vitoria y Este de la depresión de Miranda de Ebro-Treviño, que cierra en cubeta en esa dirección, esta unidad se prolonga por las sierras de Urbasa y su extensión oriental de Andía, los valles de las Amezcias y, más al Sur, por la cobijadura sobre la meseta.

En esta región (24) el cretáceo inferior aflora en la zona meridional (sierras de Codes y de Toloño). Está constituido por masas calizas de color blanquecino o amarillento, algunas veces rojizas, compactas y marmóreas; arenosas con pequeños cantos de cuarzo, o arcillosas como tránsito a las margas; contiene orbitolinas y se atribuyen al cenomanense. Los tramos margosos que aparecen por debajo de las calizas están constituidos por margas más o menos sabulosas, con frecuencia micáferas, de color oscuro y estructura laminar, a que acompañan areniscas pardo-

(24) La descripción de esta zona está tomada fundamentalmente de las hojas de Eulate (11) y Viana (26), pero ha sido interpretada de acuerdo con mis propias experiencias en las regiones inmediatamente al Este y al Oeste.

rojizas y arcillas pizarreñas con lentejones de caliza ferruginosa. Contiene orbitolinas y su descripción corresponde exactamente a la de la facies wealdense cantábrica.

El cretáceo superior no se ha subdividido, pero se citan en él el turonense, senonense y garumnense. El conjunto turonense-senonense está constituido por una alternancia de bancos calizos y margosos, que contienen abundantes fósiles. Su estructura, por la breve descripción que hacen los autores de la hoja, nos recuerda muchísimo la del cretáceo superior de la zona que hemos estudiado más al Oeste (1), aunque sin duda es más sencilla, porque el cretáceo superior se simplifica probablemente de Oeste a Este. Dado que la tectónica no es complicada creemos que no sería difícil subdividirlo y, en efecto, Almela (25) separó el turonense en parte de esa zona, y con la experiencia que adquirió más tarde en estas formaciones podría hacerlo ahora, con toda seguridad, mucho más minuciosamente.

El garumnense está constituido por diversos tramos de arenas, areniscas y pudingas, de colores blancos y rojos, de tonos vivos, con granos de cuarzo. Descripción que encaja perfectamente con la del garumnense de la zona occidental antes citada (1).

El eoceno, por débiles espesores de calizas con alveolinas. El oligoceno, por la clásica facies de la cuenca del Ebro, con sus pudingas marginales. La descripción tectónica es la siguiente:

La posición tabular-ondulada de la llanada Vitoria, se convierte hacia el Este en el flanco Norte de un sinclinal, cuyo eje está en la Sierra de Urbasa. Este sinclinal arma en el cretáceo superior, y se ve coronado por el eoceno,

(25) Informe inédito sobre la zona de Gastiain, por A. Almela.

que constituye las escarpas de la sierra, y por el oligoceno que rellena el centro de la depresión.

El sinclinal de Treviño, parecería prolongarse precisamente por el de Urbasa, pero hasta que no se tengan datos más completos de la zona al Este de Treviño, cuya hoja no está estudiada, no puede afirmarse rotundamente. El eje del sinclinal de Treviño parece terminar (por el Este) algo más al Sur que el de Urbasa (por el Oeste), pero precisamente está enclavado allí el diapiro de Maestu. Su presencia es más que suficiente para enmascarar la continuidad.

El sinclinal de Urbasa desempeñaría el mismo papel, al Este, que el de Medina de Pomar, al Oeste. Al Sur de él, el terreno se pliega, primero suavemente (anticlinal de Gastiain) y, luego, violentamente en las cobijaduras marginales de las sierras de Codes y Toloño. Estas deben ser lógicamente la prolongación de los accidentes de Obarenes. Por lo que dicen los autores de la hoja de Viana (26), la estructura de estas sierras debe de corresponder o bien a la de Obarenes (10) o a la de la Sierra de Alaiz (27), que en realidad constituye la prolongación oriental de estos accidentes. Sería un anticlinal muy vergente al Sur, volcado sobre la depresión terciaria, y que puede estar o no roto por la charnela, con desaparición más o menos completa del flanco meridional bajo la cobijadura. Los conglomerados marginales del oligoceno están levantados hasta la vertical en el contacto, como ocurre tanto en Alaiz como en Obarenes.

(26) «Hoja de Viana (n.º 171), a escala 1:50.000».—Instituto Geológico y Minero de España. 1933.

(27) Ríos, Almela y Garrido: «Datos para el conocimiento estratigráfico y tectónico del Pirineo Navarro (2.ª parte)».—Notas y Comunicaciones del I. G. y M. de España, n.º 14. 1945.

Hemos de continuar ahora nuestra descripción hacia el Este, pero para ello disponemos de datos muy poco precisos. El sinclinal de Urbasa se amplía considerablemente al Sur, de lo que debería resultar una disposición casi tabular, en la que enclavan los diapiros de Lácar, Salinas de Oro, Goñi y Atondo. Forma aún en la Sierra de Andía los mismos escarpes coronados por el eoceno, que ahora se extiende ampliamente al Sur. La depresión turonense-senonense de las Amezcvas se cierra al Este por las calizas eocenas. En su extremo SE. se enclava el diapiro de Estella.

La zona marginal de cobijadura sobre la depresión terciaria viene a terminar precisamente en este diapiro. Más al Este debe de haber una zona de tectónica mucho más suave. Una gran mancha oligocena que reposa en discordancia regional sobre el eoceno (sólo apreciable cuando se estudia en zonas extensas), avanza muy al Norte de la línea de cobijaduras. Esta queda interrumpida, pues, entre la Sierra de Dos Hermanas, junto al diapiro de Estella, hasta su reaparición, más al Este, en la Sierra de Alaiz (27), sierra que surge normalmente bajo el conjunto eoceno-oligoceno, pero que rapidísimamente se vuelca y rompe desapareciendo el flanco meridional bajo la cobijadura (28).

Descritos de este modo los rasgos más generales, es-

(28) Se prolonga, además, en dirección Este por las sierras de Navascués, en Navarra, y Santo Domingo y Loarre, en Huesca. Elementos de ella son también Guara, Los Montsechs, Aubens, Oliana, San Lorenzo, etc., pero no en la misma alineación. Hacia el Este, a partir de la Sierra de Santo Domingo, la cobijadura marginal va pasando en forma discontinua a pliegues cada vez más meridionales. Este hecho es muy patente, sobre todo en los de la provincia de Lérida.

tratigráficos y tectónicos, de la región en que enclavan los diapiros navarros, podemos pasar a proceder al estudio de los posibles motivos de localización.

Mecanismo regional de los diapiros.

Si exceptuamos el diapiro de Estella, que puede estar situado, al parecer, no sólo en el extremo de un anticlinal, sino, quizá también, en el de una línea de fractura, tenemos que, el de Maestu, está situado en un sinclinal, y los de Lácar, Salinas de Oro, Goñi y Atondo, en una extensión débilmente inclinada y uniforme, que puede considerarse como una gran unidad tabular.

Del Valle y sus compañeros de trabajo en la región Norte, coautores de las hojas de esa región, consideraban que el diapiro de Maestu estaba situado en una línea de fractura, y que otra gran fractura ligaba los de Estella, Lácar, Salinas de Oro, Goñi y Atondo.

La opinión de tan distinguidos geólogos, especialmente en terrenos muy pisados por ellos, supone una gran coacción, tanto más cuanto que carezco, en absoluto, de datos directos de esa zona, que desconozco. Pero, por otra parte, no afirman rotundamente, y más bien entran en el terreno de las conjeturas. Ha de parecer, sin embargo, grandísimo atrevimiento rechazar ideas emitidas por tan ilustres como queridos compañeros; ahora bien, no es lo mismo refutar afirmaciones que conjeturas. En todo caso, la crítica geológica más que conveniente es necesaria, y todos tenemos el derecho y el deber de ejercitarla. Y si bien no conozco la zona de los diapiros navarros, he reconocido con gran detalle las situadas inmediatamente al

Este y al Oeste, y mi experiencia de las regiones subpirenaicas me pone, al menos, en condiciones de opinar.

La falla de Maestu la justifican de la siguiente manera: existe al Sur del diapiro de Maestu un área de cierta consideración, a la que se atribuye el carácter de una fosa de hundimiento. Es la mancha eocena de Corres. Coronada por las calizas de numulites y alveolinas, buzan estas capas hacia el centro de la fosa, todo a lo largo de su periferia. Los autores de la hoja de Maestu dicen que los bordes del diapiro de Maestu, y de la fosa de Corres, forman parte de una línea de fractura, jalonada al Norte y al Sur por desviaciones generales en la dirección de las masas estratigráficas que, a lo largo de ella, hacen una inflexión. Esta sería perceptible en la Sierra de Codes, en cambios de dirección en los ejes de la Sierra de Andía y Montes de Vitoria. Cambios análogos en las masas infracretáceas de Aralar y Buruntza-Hernio-Anduz; inflexión en las capas eocenas de la costa cantábrica y su fractura en Orio.

Generalmente, las fracturas de distensión no afectan de manera tan marcada y extensa las formaciones. No tienen, por así decirlo, un efecto tan regional. Únicamente lo hacen cuando tienen el carácter de cizallamientos, con saltos a veces muy grandes, en dirección horizontal, y entonces son enormes cicatrices de la corteza, que la dejan jalonada por una serie de contactos anormales. Pudiera tratarse de una mera coincidencia, o más bien tener una motivación paleogeológica, es decir, profunda. Nos inclinamos a creer que como tal fractura superficial no existe realmente. Y solamente con mapas detallados y gran abundancia de medidas, a uno y otro lado de la supuesta fractura, se podría afirmar su existencia real.

Atribuyen a la supuesta fractura de Corres el desplazamiento de la masa salina infrayacente, lo que originó el

levantamiento del triás. Más bien parecería posible que el diapiro hubiera podido tener una disipación bajo el macizo de Corres, y que la disolución de las sales hubiera creado la cavidad que habría podido originar el hundimiento.

Respecto a la falla que ligaría los restantes diapiros, razonan dichos geólogos de la siguiente manera (23): la meseta alavesa constituye una zona tan potente de sedimentos casi horizontales que ha de ser difícilmente plegable, dando lugar a la formación de un macizo resistente de forma de escudo, que cogido entre los macizos antiguos de Aya y Alduides, al Norte, y el macizo Ibérico, al Sur, es una especie de obstáculo que, en lugar de plegarse, se ha elevado en sentido vertical, sin perder su horizontalidad, actuando como un bloque rígido sobre los macizos que le rodean.

Los bordes de este macizo vienen determinados, en su parte oriental, según ellos, por una línea de fallas que, a trechos, señalan algunos asomos de ofitas. Estas fallas han causado el cambio de posición de las calizas eocenas que casi horizontales forman las anchas cumbres de las sierras de Andía y Urbasa, y su colocación en posiciones próximas a la vertical a lo largo de estas fallas. Fracturas que es posible que representen las periféricas de un campo oriental de hundimientos, lo que apoyaría la hipótesis de la existencia de la llamada fosa tectónica del Ebro, o quizá proceden del movimiento inverso del levantamiento de la meseta alavesa.

Ahora bien, a esta argumentación opongo yo la siguiente: el conjunto de estratos que constituyen la meseta alavesa forma, por su espesor y facies, el relleno de una hondísima fosa cantábrica, de relleno casi tan rápido como su hundimiento.

Su borde meridional está señalado más al Oeste por la

serie de diapiros cantábricos; con Garrido y Almela reunió suficientes datos para demostrar que aquéllos están situados en las líneas de rapidísimo decrecimiento de espesores secundarios hacia el Sur, que llegan a reducirse en breve distancia horizontal a su quinta parte, marcando así el borde meridional de la fosa cantábrica. Este borde no está señalado por ninguna línea de fractura, y no coincide tampoco con la margen de la depresión del Ebro, que queda más al Sur. Ambos son elementos paleogeográficos distintos.

La única manifestación extraña son precisamente los diapiros. Por su análoga disposición conjeturamos que el de Maestu desempeña un papel idéntico, por ejemplo, al de Salinas de Añana, y seguramente coincide con una rápida disminución hacia el Sur de los sedimentos cretáceos. Esta es casi evidente, pues sabemos que el cretáceo inferior, en la parte Norte de la Ibérica, aunque potente, representa espesores mucho menores que los cantábricos. El cretáceo superior experimenta una disminución aun mucho mayor.

Por lo que se refiere a la zona oriental, vemos que los espesores potentes de cretáceo que inmediatamente al Oeste de los diapiros se ocultan bajo sedimentos eocenos y oligocenos, cuando reaparecen al Este de la Sierra de Alaiz lo hacen con espesores muy reducidos. El cretáceo inferior no es allí visible, pero poco más al Norte (27), en el anticlinal de Mezquiriz-Abaurrea (braquianticlinal de Arce, de L. Lamare), del conjunto cenomanense-cretáceo inferior, no quedan sino unos 40-60 metros de calizas cenomanenses, que se apoyan directamente sobre el triásico, y que por otra parte tienen facies totalmente distintas. La facies wealdense con orbitolinas se vuelve a encontrar, algo más al Norte (cerca de Burguete), aunque con espe-

sor muy reducido. Es evidente, pues, que al Este de Pamplona falta por completo el cretáceo inferior, y éste no reaparece hasta la provincia de Lérida, donde lo hace en el macizo de Bou Mort, con facies muy distinta de la wealdense por ser ya completamente marina. Por lo que al cretáceo superior se refiere, en el mismo anticlinal, todo el conjunto no rebasa los 400 metros, y no es probablemente mayor en la Sierra de Alaiz, aunque la serie completa no es visible.

De Oeste a Este se verifica, por consiguiente, entre el meridiano de Eulate y el de Pamplona, una disminución enorme en los espesores conjuntos de cretáceo, de tal modo que el inferior llega a desaparecer por completo, y el superior queda por debajo de los 700 metros. La distancia horizontal es pequeña, y la disminución de espesores se verifica con gran rapidez. Los diapiros de Estella, Lácar, Goñi y Atondo, jalonan la margen oriental del profundísimo surco cantábrico, de la misma manera que los cantábricos, hasta el de Estella inclusive, jalonan la margen meridional.

Podemos aplicar, por consiguiente, a los diapiros de Navarra toda la argumentación empleada para los cantábricos. De acuerdo con las ideas expresadas serían perfectas chimeneas salinas. Su mecanismo sería isostático. No estarían ligadas por ninguna fractura superficial. El motivo de su localización residiría en el profundo escalón o escalones con que el fondo paleozoico de la cubeta, cuyo hundimiento originó la depresión cantábrica del cretáceo, limitaba por el Este con macizos más estables. En una palabra, las figuras de la lámina III serían aplicables también a los diapiros navarros, y éstos estarían ciertamente condicionados en su localización por un accidente tectónico, precisamente de fractura, pero de fractura profunda que

afecta sólo al fondo paleozoico. Como en todos los casos de chimeneas salinas, es la tectónica de fondo, ligada a la historia antigua de la región, la que determina las circunstancias de localización de los diapiros. En este sentido se manifiesta Jacob, refiriéndose precisamente al diapiro de Estella (29), expresando que casos como éste denotan la existencia de accidentes del basamento profundo.

Cierto es que Del Valle habla (23) de que una línea de fallas uniría a los diapiros navarros, fallas que a trechos señalan algunos asomos triásicos de ofitas, y que han llevado a la vertical capas casi horizontales de las cumbres de Urbasa y Andía. Pero las fallas de tensión no suelen manifestarse por estos cambios tan marcados en la inclinación de las capas, que suelen ser exclusivos de los fenómenos de compresión o empuje, y creemos que entre los diapiros las capas no presentarán trastorno alguno. La verticalidad, junto a las capas triásicas, es debida solamente al empuje del keuper, y desaparecerá, con toda seguridad, en cuanto nos alejemos del diapiro.

Del Valle relaciona esta supuesta falla con el cizallamiento del macizo de Santa Bárbara, en cuya alineación se situaría. Pero Lamare, que estudió la zona vascongada con gran detalle (30), expresa que estos cizallamientos no son sino una disposición accesoria que carece de carácter regional y deben de considerarse como dislocaciones de cobertura propias de la tectónica «rígida», resultante de grandes diferencias de resistencia entre estratos vecinos.

(29) *Compte Rendu Somm. des Séances de la Soc. Géol. de France. Reunion extraordinaire dans les Pyrénées Basques d'Espagne. Numéro 17. 1934.*

(30) P. Lamare: «Les éléments structuraux des Pyrénées Basques d'Espagne». - *Essai de Synthèse Tectonique. Bull. Soc. Géol. de France. 1932.*

Se ve que la idea de estos cizallamientos es opuesta a la significación regional que tendría la falla que supone Del Valle. Son accidentes de cobertura, que ciertamente tienen relación con los accidentes de fondo. En este sentido, sí que pudiera tener relación con el motivo de localización de los diapiros. Pero como accidente de fondo, que no rasga las capas secundarias y que no es perceptible en superficie.

Llopis Lladó (31) adopta una posición distinta de la de Del Valle con respecto a estos diapiros. Interpreta los de Allo o Lácar (Lorca) y Estella como manifestaciones del frente tectónico marginal, que yo he supuesto interrumpido desde Dos Hermanas hasta la Sierra de Alaiz. En el caso del diapiro de Estella, la cuestión puede parecer menos clara por su inmediata proximidad a la Sierra de Dos Hermanas; pero las características del diapiro de Allo (Lorca), según las descripciones, son las de una chimenea diapírica y no tienen semejanza con los accidentes tectónicos marginales. Véase que en casi ninguno de los de esta zona (sierras de Leyre, Navascués, Alaiz, Dos Hermanas, Codes, Toloño) aflora el keuper a pesar de ser accidentes de gran aparato y categoría y hay que ir ya lejos, hacia el Este, hasta la Sierra de Santo Domingo, en Huesca, para encontrar afloramientos *alargados* de keuper, es decir, acordes con la estructura tectónica de la sierra.

Pero tanto en los afloramientos triásicos de Estella y Lácar, como los de Salinas de Oro, Goñi y Atondo, tienen formas y dimensiones en general aproximadamente ovals o circulares, que corresponden mucho más al tipo de las chimeneas salinas.

(31) N. Llopis Lladó: «Sobre la estructura de Navarra y los enlaces occidentales del Pirineo». - *Miscelánea Almera. Barcelona. 1945.*

La idea de Del Valle de un accidente transversal de superficie en Estella, aparece también en el trabajo de Llopis Lladó, pero en forma muy distinta. Se trata, según él, de una fuerte flexión N.-S. en el limpio desarrollo E.-O. de los pliegues, señalada no sólo en la anómala dirección de las cabalgaduras de Lorca (Lácar) y Estella, sino además por la torcedura de los materiales de los pliegues oligocenos al Oeste del Arga. En todo caso, da a sus accidentes transversales un alcance mucho más reducido, un carácter más local, que Del Valle.

En sus razonamientos, omite Llopis toda consideración acerca de los manchones triásicos vecinos de Salinas de Oro, Goñi y Atondo, de carácter análogo a los de Estella y Lorca, y a los que no se pueden aplicar sus razonamientos. Creemos que la coincidencia de localización de los diapiros de Estella y Lácar con la línea marginal es puramente accidental y su motivación completamente distinta. Tectónicamente han de reunirse con las demás chimeneas salinas y de ninguna manera asociarse a los accidentes marginales.

Por otra parte, tampoco estamos diciendo nada nuevo, aunque sí estamos razonándolo con datos propios, originales algunos de ellos. Lotze, en su obra tantas veces mencionada (6) y en su mapita de la región cantábrica, figura 14, da a entender que los motivos de la localización de los diapiros navarros es idéntica a la de los cantábricos, y de hecho no establece él ninguna diferencia entre unos y otros. En dicho mapa señala el surco cantábrico y dice textualmente que depresiones muy estrechas y profundas pueden crear circunstancias especiales, como, por ejemplo, enseña la repartición de las chimeneas salinas en el ámbito del geosinclinal cantábrico. En su área, en el espacio entre Bilbao y Vizcaya, allí donde los espesores extraordinarios

del cretáceo y del terciario (superiores a 10 kilómetros) denotan un hundimiento profundísimo del fondo, faltan las manifestaciones del keuper, a pesar de la intensa dislocación de los sedimentos acumulados. Rodean, en cambio, el surco por el Sur, el Este y el Norte. Razones paleogeográficas excluyen toda sospecha de falta de keuper en lo más profundo de la depresión, y la repartición de las chimeneas salinas se puede explicar sólo por una emigración de la formación salina desde el centro hacia las márgenes, que ha drenado el fondo de la depresión. Este drenaje es debido, según Lotze, al desequilibrio isostático producido por la diferencia de densidades, acentuada por el inmenso paso de los potentísimos sedimentos cretáceos, así como a la elevación de temperatura producida por el intenso vulcanismo ofítico. La localización tendría lugar al encontrar el keuper, en su emigración, la rapidísima disminución del espesor sedimentario. Estamos de acuerdo con esta interpretación de Lotze.

Vamos a examinar ahora la cuestión que plantea el diapiro de Estella con la salida de elementos más antiguos que el keuper, como son los bloques graníticos y paleozoicos mencionados en su descripción.

Los datos regionales indican que el fondo de la cubeta cretácea está constituido por el keuper y el muschelkalk, incierto en la región occidental y existente con toda seguridad en la oriental, aunque más al Este falta de nuevo, como han indicado nuestros reconocimientos en la cuenca del Irati (27). El bunt existe con espesores muy variables, pero en general considerables. Igualmente es muy probable que exista el carbonífero, que aparece bajo el triás al Oeste de la región cantábrica, en la provincia de Santander, al Sur en la Sierra de la Demanda y, al NE., en los macizos guipuzcoanos. Es decir, en todo el perímetro de

la región el triásico se apoya sobre el carbonífero. La presencia del devoniano no es tan segura, pero existe un potente macizo cantábrico, siluriano, que reposa, a su vez, probablemente, sobre un zócalo arcaico, constituido por gneis y granitos.

En la discusión que de este problema hacen los autores de la hoja de Allo (20, 32 y 33), se expresa una opinión originaria de los Sres. Marín y del Valle que, a nuestro juicio, es correcta. Se trataría, según dichos ilustres geólogos, de un pliegue diapírico motivado por la fractura del fondo herciniano, que al poner en contacto con los labios de la falla las formaciones triásica y arcaica pudo, la primera, en su ascensión, arrastrar un bloque de la segunda, incrustado en la masa plástica.

Esta es, exactamente, nuestra opinión. La fosa cantábrica se ha originado por el desgaje de una dovela del zócalo estrato cristalino-paleozoico, originado por la descompresión post-herciniana. Aquélla ha quedado desgajada, periféricamente, de los macizos contiguos más estables por una falla o serie de fallas (lám. III). La poderosa sedimentación secundaria ha ocasionado su hundimiento, y éste, a su vez, ha facilitado la prosecución del proceso de acumulación de sedimentos. Al aumentar el salto de falla, por un hundimiento que ha alcanzado miles de metros, el triásico ha quedado frente a formaciones arcaicas y graníticas. La ascensión del keuper por la chimenea salina ha arrastrado a la superficie bloques arrancados a aquéllas.

Nuestra figura expresa, aunque con mecanismo distinto, la misma idea que la de la correcta interpretación de

(32) J. R. Bataller: «Reunión extraordinaria de la Sociedad Geológica de Francia en el país Vasco-Español».—Ibérica. 1934.

(33) Ver nota número 29.

Lacoste (figura número 15), tomada de la citada hoja de Allo (20).

Por otra parte, los antecedentes de estas salidas de materiales, mucho más antiguos que el material del diapiro,

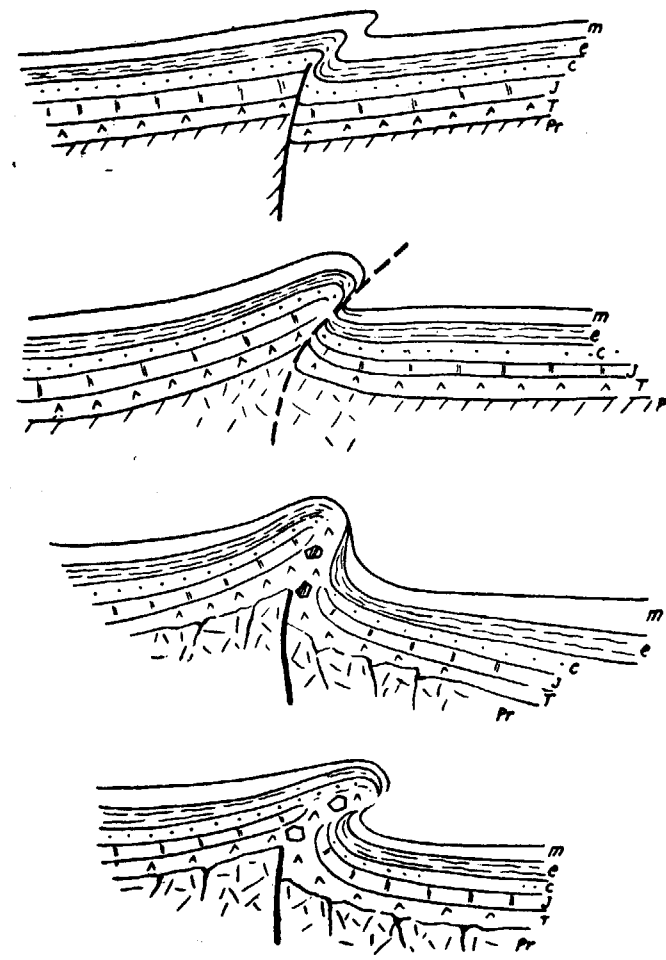


Fig. 15. - Explicación de los arrastres de fragmentos o bloques del yacente arcaico o paleozoico.

m: Mioceno. — e: Eoceno. — c: Cretáceo. — j: Jurásico. — t: Triásico.
Pr: Primario.

no son nada escasos. Se puede decir que no hay región en que el diapirismo sea tan frecuente que constituya un estilo regional en que no ocurra esto, y si no se hubiera presentado este caso en el diapiro de Estella podría decirse que esta región diapírica constituiría una excepción.

Los autores de la hoja de Allo citan varios ejemplos de la región prerifeña, tomados de una publicación de Daguin (34). El material diapírico es allí, igualmente, el keuper, y arrastra fragmentos de rocas paleozoicas y gneísicas. Cizancourt (35) dice que el triás, en Africa del Norte, arrastra frecuentemente entre sus margas bloques provenientes del substratum, en particular pizarras metamórficas, rocas cristalinas, sienitas, gneis, etc. Se trata, sin duda, de bloques arrancados en los movimientos de despegue, de los que son prueba directa. Aquí, de nuevo, el mecanismo es distinto, como veremos posteriormente, que en el caso del diapiro de Estella, si bien el resultado sea el mismo.

En Rumania también se presenta este fenómeno; según dice Cizancourt, las superficies de resbalamiento que ocupa el material diapírico, que allí no es el triás, sino el mioceno, están jalonadas de xenobloques constituídos por pizarras numulíticas, calizas jurásicas e incluso rocas cristalinas. Se trata, igualmente, de bloques arrancados a la superficie del substratum, y que englobados en la masa plástica salífera son arrastrados a lo largo de la superficie de despegue.

(34) F. Daguin: «Contribution a l'étude géologique de la Region Prerifaine (Masse Occidentale)». — Paris, 1927.

(35) H. de Cizancourt: «Plissements disharmoniques et diapirisme (Sur la tectonique des terrains saliferes)». — Bull. de la Soc. Géol. de France. V. 1934.

En ambos casos, y a diferencia de los diapiros cantábricos, se trata, no de auténticas chimeneas salinas, sino de pliegues de núcleo perforante o láminas de arrastre, que son debidos a empujes tangenciales, y no como en aquéllas a presiones isostáticas. Por eso a Cizancourt le parece innecesario imaginar en el substratum una serie de fallas para explicar el arrastre, y opina que el acortamiento experimentado por la serie sedimentaria, y su resbalamiento sobre varios kilómetros, basta para explicar ampliamente la inclusión de los xenobloques en las formaciones salinas.

Los arrastres de rocas más antiguas que el material salino son conocidos en diversas regiones pirenaicas de estilo diapírico. Así, Buxtorf (36) cita que en la zona del Ariège existen, en los complejos del triásico, rocas graníticas que no son intrusiones, sino lentejones ajenos a esta formación arrancados al subsuelo. Y Casteras cita en las margas triásicas pirenaicas (37) la presencia de granitos, pegmatitas, anfíbolitas y gneis arrancados al substratum.

También se citan en la región de los domos salinos del Norte de Alemania, donde algunos de ellos son auténticas chimeneas de sal, debidas solamente al mecanismo isostático.

En la región de domos salinos de Tejas y Louisiana, que son de tipo puramente isostático, es decir, análogo por su mecanismo a las de la región cantábrica, se registran igualmente arrastres paleozoicos, y los citan Prommell

(36) R. Buxtorf: «Géologie du front septentrional des Pyrénées au Nord de St. Girons. Ariège». Bull. de la Soc. de H. N. de Toulouse. 1930.

(37) M. Casteras: «Recherches sur la structure du versant nord des Pyrénées Centrales et Orientales». — Bull. des Séances de la Carte Géol. de France. Paris, 1933.



y Crum (38) en las cúpulas salinas del SE. de Utah, con arrastres devonianos y silurianos.

Se podrían multiplicar los ejemplos, pero éstos son suficientes para demostrar que no hay, prácticamente, región donde el diapirismo constituya un estilo en que no se manifieste el fenómeno de la presencia de materiales más antiguos que la masa salina. En las descripciones de los diferentes estilos diapíricos que hacemos, tomando ejemplos del mundo entero, se verá que éste es, en efecto, el caso.

(38) H. W. C. Prommell y H. E. Crum: «Salt Domes of Pennsylvanian age in Southeastern Utah and their influence in oil accumulation». Bull. of the American Association of Petroleum Geologists. Volume XI. 1927.

IV

LOS ESTILOS DIAPÍRICOS

Vamos a presentar ahora un esquema más general del fenómeno diapírico, y para ello comenzaremos por reseñar ejemplos de las zonas diapíricas más significadas y conocidas de nuestro globo.

Para romper la monotonía, y puesto que durante largo rato me vengo ocupando de los domos salinos, voy a comenzar ahora examinando el caso de los diapiros debidos a presiones tangenciales, cuyos tipos más señalados son los anticlinales de núcleo perforante y las intrusiones laminares de keuper en las superficies de fractura y, sobre todo, de arrastre, que se presentan en las zonas de tectónica violenta. Las montañas de plegamiento alpino nos suministran en muchas zonas ejemplos típicos de regiones en que el diapirismo es tan frecuente que constituye un «estilo» regional. Entre las mejor estudiadas están las de Rumania y las del Marruecos francés, con la ventaja, en ambos casos, de que las deducciones están con frecuencia corroboradas por, o basadas en, abundantes sondeos.

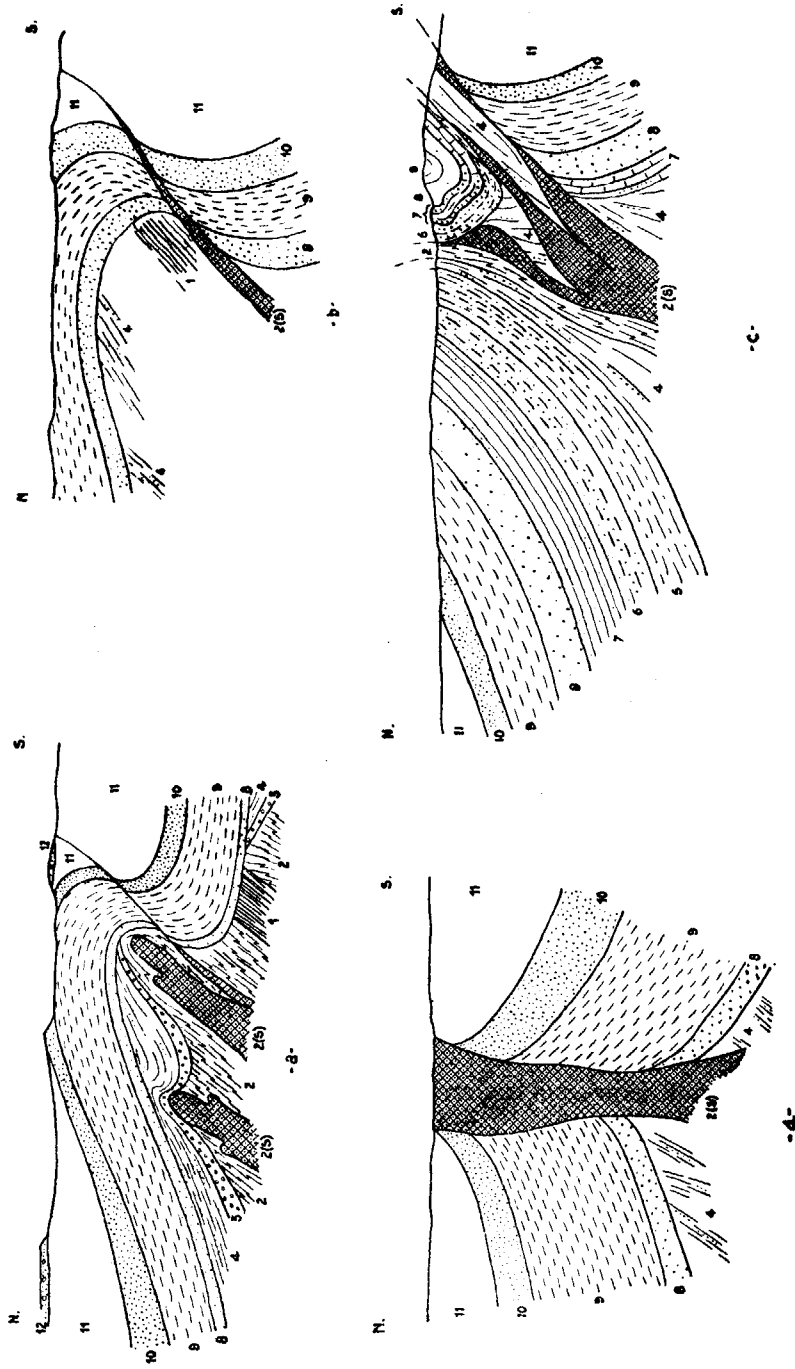


Fig. 16.—Pliegues diapíricos en Rumania. (Según de Raaf, 1945.)

a: Tipo de pliegue sub-carpático. Área de Doicești.—b: Esquema de un pliegue sub-carpático cerca de Campina, mostrando una intrusión salina a lo largo del plano de fractura.—c: Tipo de pliegue sub-carpático. Área de Chiojdeanca-Apostolache.—d: Diagrama de tapón salino enteramente evolucionado, del tipo de Moreni.—1: Paleogeno (eoceno + oligoceno).—2 (S): Sal.—2 (I): Brecha salina.—3: Aquitaniense.—4: Burdigaliense.—5: Helveciense.—6: Bugloviense o sarmatoide.—6: Sarmatiense inf.—7: Sarmatiense sup. + calizas de *Maetra*.—8: Meotiene.—9: Pontiene.—10: Daciense.—11: Levantino.—12: Pleistoceno.

DIAPIROS ORIGINADOS POR PRESIONES TANGENCIALES

Pliegues perforantes de núcleo plástico. Láminas salíferas.

RUMANIA. (Figs. 16, 18 y 19).—La zona diapírica de Rumania arma en un complejo que se inicia en su base por la formación salífera, consistente en un conjunto aquitaniense-burdigaliense-helveciense, creyéndose que la sal proviene del aquitaniense. J. F. M. de Raaf (39) admite, muy recientemente, esta posible edad aquitaniense, aunque no se puede confirmar por no haberse encontrado nunca en la disposición sedimentaria original. Sobre ella descansa un espesor de 1.200 a 2.000 metros de sedimentos transgresivos, correspondientes al conjunto mioceno superior-plioceno.

Todo el complejo se encuentra más o menos violentamente plegado, y en su tectónica desempeñan papel importante los despegues. Así, dice Cizancourt (35), que existe una independencia, en el funcionamiento tectónico, entre el mioceno salífero y el yacente, de flysch cretáceo-eoceno, por despegue progresivo. También existe una disarmonía completa entre los pliegues de la formación salífera y los del plioceno. El período principal orogénico data,

(39) J. F. M. de Raaf: «Notes on the Geology of the Southern Rumanian Oil District with special reference to the occurrence of a sedimentary laccolith». —The Quarterly Journal of the Geological Society of London. Vol. CI, octubre. 1945.

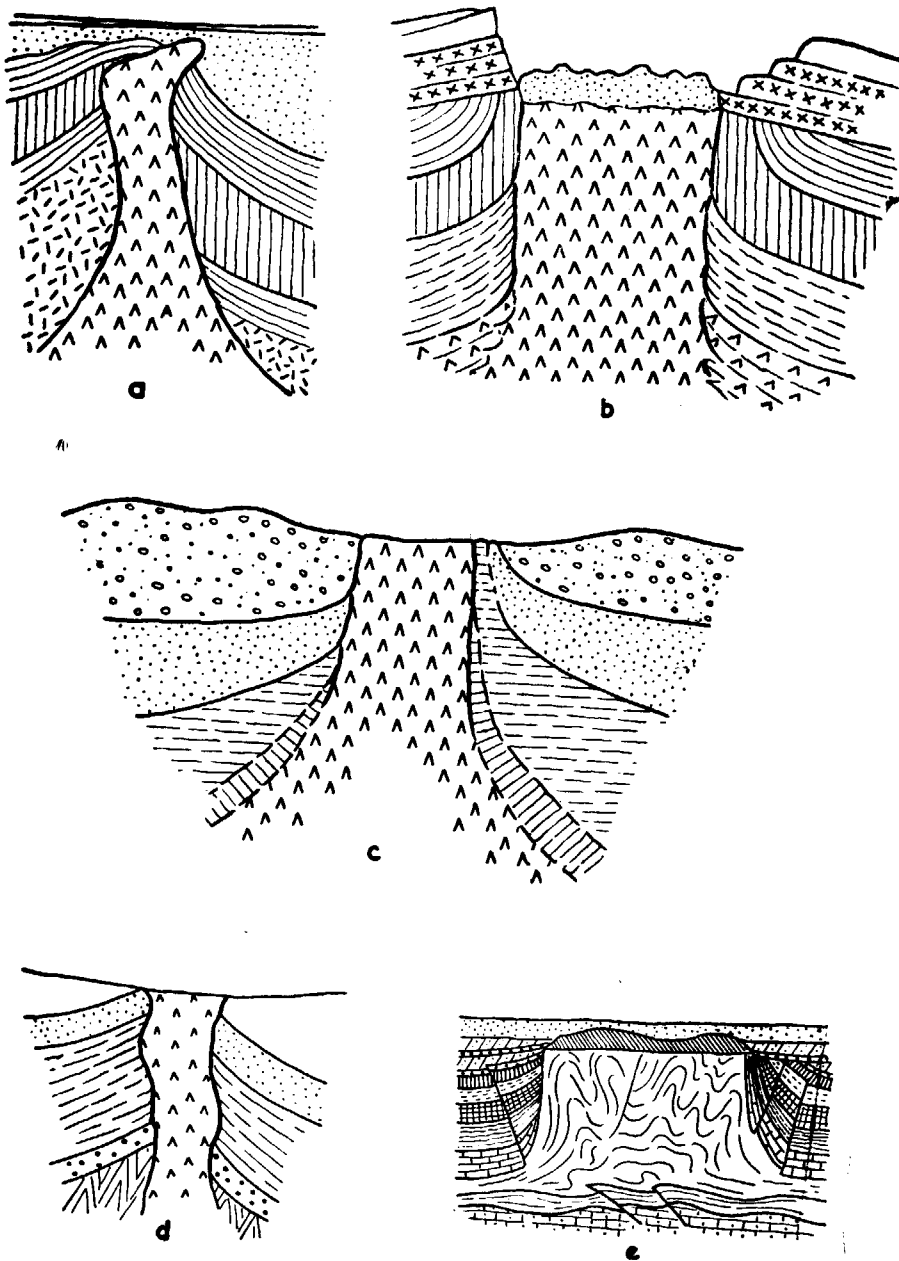


Fig. 17.—Varios tipos de chimeneas salinas.

a, b, c y d. Chimeneas salinas exploradas por sondeos.—*e.* Ejemplo ideal de una chimenea salina resumiendo las características más generales de las que han sido exploradas por sondeos.
a: Chimenea salina de Gura Ocniței, en el anticlinal de Moreni (Ru-

según Gignoux (40), de fines del oligoceno (fase sávica), y el mioceno reposa sobre estos pliegues en discordancia, comenzando por conglomerados. Pero el mismo mioceno está plegado porque los esfuerzos orogénicos han continuado incluso durante el plioceno superior.

De Raaf (39) cree poder precisar que las fases diapíricas, para la región al Norte de Ploesti, son las siguientes: en el sarmatiense-bugloviense, diapirismo de intensidad moderada en relación con movimientos póstumos del mioceno; ligera acción diapírica, probable, en el daciense; acciones diapíricas locales en el levantino; máxima acción diapírica ya en el cuaternario, en las épocas post-levantinas. Las fases tectónicas son: muy intensas de edad preburdigaliense, con mantos cabalgantes y complicadas imbricaciones; movimientos tectónicos moderados desde el helveciense hasta el meotiense, con dos agudizaciones en el principio del sarmatiense y en el intervalo post-sarmático-premeótico; movimientos débiles en el pontiense-

mania). El macizo de sal atraviesa sucesivamente el helveciense, meociense, pontiense, daciense y levantino (tomado de K. Krejci Graf «Erdöl». Julius Springer, 1936).—*b:* Esquema de las chimeneas salinas del Sur de Utah, Colorado (U. S. A.), en que masas salinas perforan el carbonífero y el permiano, aflorando actualmente en el triásico (tomado de M. Gignoux: «Tectonique des terrains salifères». Livre. Jub. de la Soc. Géol. de France, 1930).—*c:* Chimenea salina de Ochiuri (Rumania), con diapirismo a través del mioceno, en relación con un pliegue en zona de intensas compresiones (Lotze: «Steinsalz und Kalisalze», 1938).—*d:* Chimenea salina rumana del tipo Moreni, en relación con un pliegue (J. F. M. de Raaf: «Southern Rumanian Oil District». Quart. Journ of the Geol. Soc. of London, 1945).—*e:* Tipo ideal de chimenea salina según los datos suministrados por los casos explorados (tomado de K. Jung: «Kleinen Erdbebenkunde». Julius Springer, 1936).

(40) H. Gignoux: «La tectonique des terrains salifères (son rôle dans les Alpes françaises)».—Livre jubilaire du centenaire de la Soc. Géol. de France (1830-1930). T. II. 1930.

daciense; y un intenso paroxismo post-levantino creador de la disposición tectónica actual.

Los macizos salíferos tienen la forma de anticlinales alargados, y tanto por su mecanismo, como por su forma, difieren fundamentalmente de los domos salinos. Son del tipo de anticlinales de núcleo perforante, aunque frecuentemente no hay estiramiento completo de los sedimentos de cobertura más que en un solo flanco; su estructura entonces no diferiría de la de un pliegue falla ordinario.

Según Cizancourt (35), la sal en masas o lentejones no representa más que un porcentaje ínfimo de la masa salina total, y resultarían de la acumulación del CINa en los núcleos anticlinales como consecuencia de la extrusión de capas intercaladas en los pisos salíferos. Ahora bien, como se encuentran en la superficie, y también se cortan por los sondeos con tanta frecuencia, se ha llegado a admitir que el núcleo de todos los pliegues del plioceno rumano está constituido por macizos salinos. Esta es, en efecto, la opinión de Gignoux, quien dice que la formación salífera está constituida por CINa casi puro, y De Raaf es terminante a este respecto, ya que la sal que se presenta en los pliegues terciarios rumanos es sal cristalina pura en masa, y no se aprecia mezcla de material clástico. Un elemento tectónico interesante es la brecha salina asociada a las intrusiones, y que se acumula principalmente en las zonas superiores o exteriores de los cuerpos intrusivos. Según la descripción de De Raaf, en su matriz arcillosa o ligeramente margosa, de color oscuro, se encuentran abundantes fragmentos rocosos arrancados a las formaciones que fueron atravesadas, pero aparte de estos elementos extraños, la mayor parte de la brecha parece componerse de material aquitaniense «trabajado» tectónicamente. Entre los materiales extraños se encuentran rocas que provienen

del mioceno, oligoceno y mesozoico, así como rocas metamórficas o ígneas, y pueden alcanzar tamaños grandes. Estos últimos elementos derivan, probablemente, de los conglomerados poligénicos de comienzos del mioceno. Sería muy difícil y arriesgado atribuirles, aquí, un origen profundo. Es, por consiguiente, una verdadera brecha tectónica, y distinta en sus características y origen del «cap rock» que cubre las chimeneas salinas de otras regiones.

Para todos los geólogos que han visitado la región es evidente que estas manifestaciones salinas son la expresión superficial de una tectónica tangencial, pero Cizancourt opina (1934), que se ha materializado, no como una perforación de masas de sal, hipotéticas, sino como arrastres de láminas salíferas, por el resbalamiento de cubetas inclinadas. Es decir, mucho más por una tectónica de despegue y arrastre que por una tectónica perforante.

Otros autores, no tan preocupados como él por la influencia general de los fenómenos de despegue, han explicado más bien esta tectónica como de pliegues de núcleo perforante. Así Mrazec, que fué precisamente el creador de la voz «diapirismo» para el caso de los diapiros rumanos, los designa como «plis a noyeau perçant» (41) y define de esta manera su forma y mecanismo (42 y 43):

Su carácter esencial consiste en el levantamiento hasta la vertical de las capas que forman el núcleo de un pliegue,

(41) M. L. Mrazec: «Les plis diapirs et le diapirisme en general».— Instituto Geológico de Rumania. Comt. Rend. des séances. Tomo IV. 1914-1915 (publicado en 1927).

(42) M. L. Mrazec: «Plis a noyeau perçant», «plis diapirs» (de *διαιρέω* = *percer*), «Falten mit durchspeissendem Kern», «Diapir Falten», «Folds with piercing core», «Diapir Folds».—Über die Bildung der Rumanischen Petroleumlagerstätte. 1907.

(43) G. Macovei: «Les gisements de Pétrole».—París, 1938.

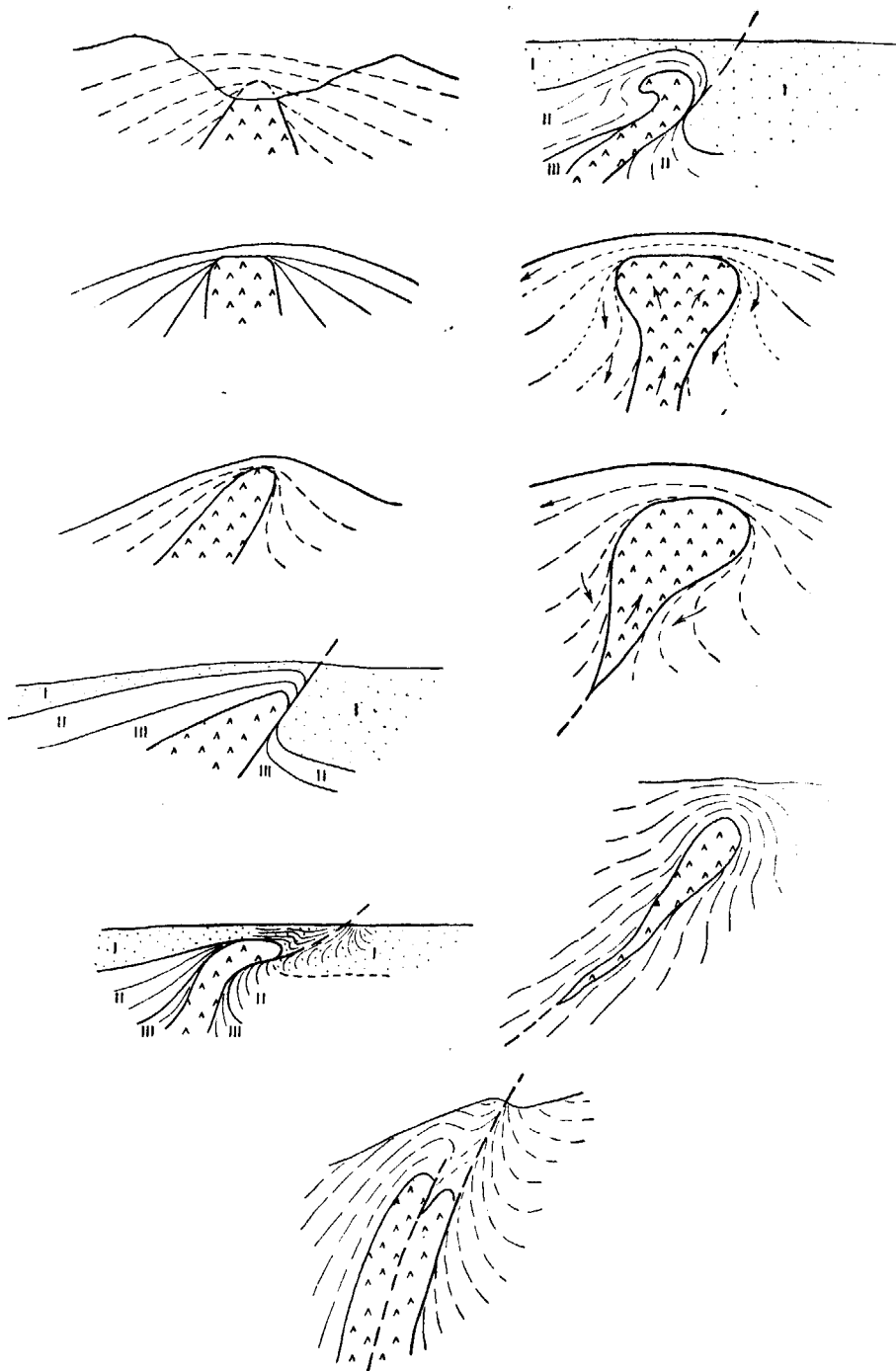


Fig. 18.—Diversos tipos de diapiros. (Según Mrazec, publicado en 1927).

acompañado de una disminución tectónica de la potencia de las capas que constituyen el techo del núcleo, y su mecanismo es como sigue (siempre según Mrazec, 1914) (fig. 18):

1.^a fase: aglomeración de la sal en forma de macizos en el eje de la bóveda anticlinal en gestación.

2.^a fase: compresión del macizo entre las mandíbulas que forman los flancos del anticlinal. Dura, a menudo, hasta que la sal aflora, con disyunción de la bóveda, que se estira con o sin ruptura.

3.^a fase: expansión de la cabeza de la columna de sal, como una masa viscosa, en todas direcciones.

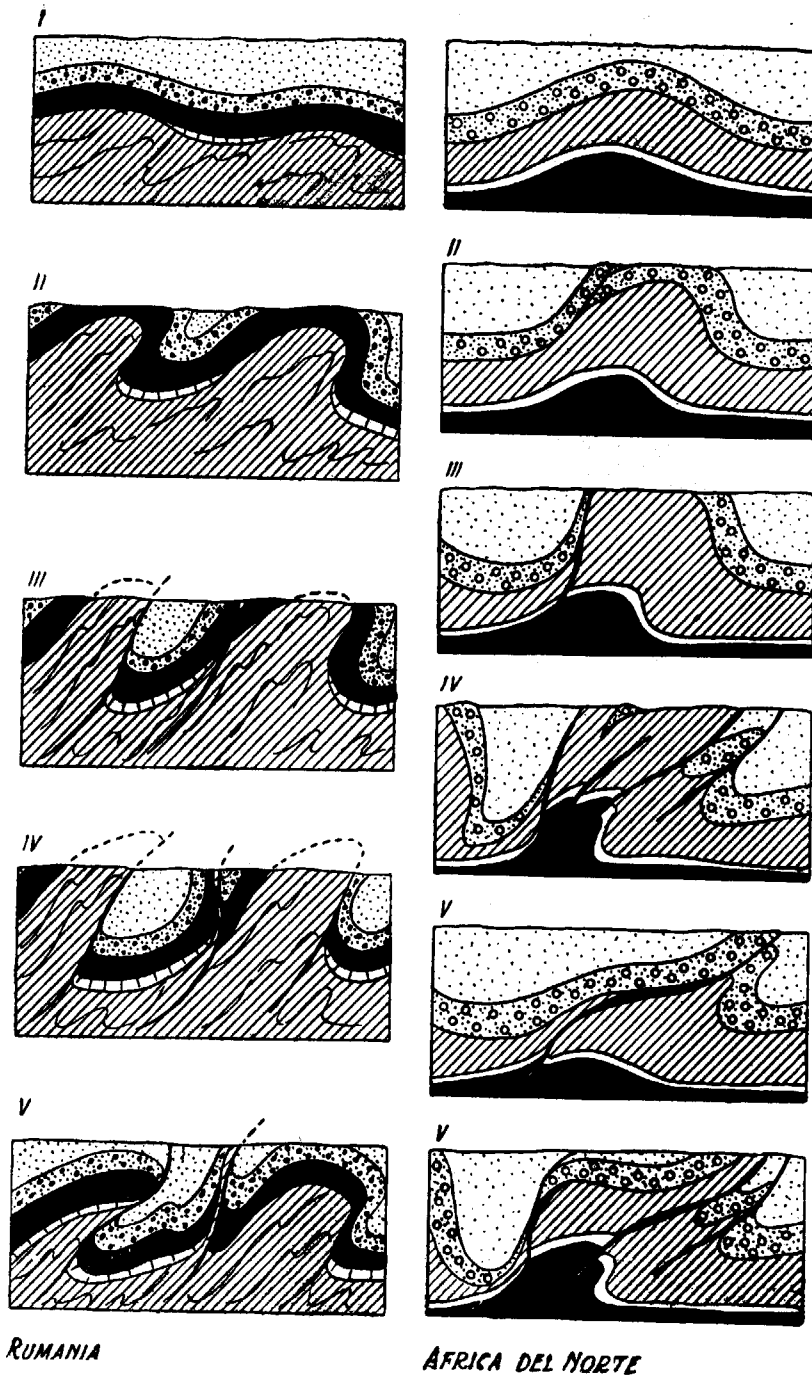
4.^a fase: puede continuar la compresión, estrangularse la chimenea, aislarse la seta y producirse un «Klippe».

Esta teoría, pudiéramos decir «ortodoxa» de los diapiros, ya que es la establecida originalmente por Mrazec (1914), creador de la voz «diapirismo», no ha perdido actualidad; véase cómo Lotze (6) interpretó, de acuerdo riguroso con estas normas, el diapirismo del Igouze, en la zona pirenaica francesa (fig. 9), pero hay que advertir que abarca sólo uno de los variados aspectos del diapirismo.

ATLAS AFRICANO.—La cordillera del Atlas y otras regiones de Africa del Norte encierran tan abundantes ejemplos de diapirismo que, por su abundancia y variedad, dan a la región un estilo diapírico marcadísimo, que hacen de este país uno de los mejores campos de estudio de este fenómeno.

Según Gignoux (40), entre sus manifestaciones diapíricas abundan las del triás, filoniano o inyectado.

Este triás intrusivo se presenta como láminas muy finas y alargadas de material procedente del keuper (carniolas,



RUMANIA

AFRICA DEL NORTE

Fig. 19.—Diapirismo por despegue. Láminas salíferas. (Según Cizancourt).

Las figuras de la izquierda sintetizan el desarrollo y aspecto de diver-

yesos, etc.), surgiendo bruscamente en medio de terrenos mucho más recientes, y sin relación inmediata con los anticlinales. Cizancourt (35) explica la génesis de este diapirismo por una doble discontinuidad estructural. La primera consiste en el despegue de las calizas jurásicas sobre el substratum herciniano. La segunda en el despegue, o independencia, que adopta con respecto a su substrato la cobertura numulítica. El triás aparece bajo los aspectos tectónicos más variados, incluso bajo la forma de macizos, incluidos en medio de sedimentos mucho más jóvenes.

El material diapírico está, en general, constituido por margas abigarradas con inclusiones de yeso, de sal y dolomías y, a veces, también de ofitas.

Bloques de todas estas rocas son incluidos en las margas y arrastradas por ellas en su ascensión. Los croquis de la fig. 19 explican perfectamente el desarrollo mecánico.

Este tipo de diapirismo se produce cuando los plegamientos son intensos. Es entonces cuando se originan las

esos tipos o pliegues salinos de Rumania. Es notable la variedad resultante de la tectónica de núcleo plástico, con anticlinales regulares volcados, acabalgados, estirados, extrusiones de láminas salíferas, etc. Los motivos de la variedad residen en la de las circunstancias locales; disposición del substrato profundo, tectónica propia de la sal, grado de erosión, despegues, etc. Las figuras de la derecha sintetizan en forma análoga los diversos modos de yacimiento del triás en Marruecos, cuyo variadísimo tipo corresponde a la gran diversidad de dislocaciones que afectan a las estructuras disarmónicas, y se los puede resumir diciendo que el triás aparece a lo largo de las superficies de resbalamiento que afectan su cobertura.

La consecuencia curiosa de la disposición que muestran estas figuras es que es precisamente en las zonas de elevación del fondo, donde aflora el jurásico, donde el triás tiene menos probabilidades de ser arrastrado y, por el contrario, en las zonas comprimidas, que es en las que la tectónica plástica puede jugar con toda su amplitud, es decir, donde abundan los resbalamientos, el arrastre del triás es la regla general.

escamas o láminas salíferas. En muchas regiones, y una de ellas es precisamente el Africa del Norte, se presentan las escamas salinas en las zonas de plegamiento violento, y las cúpulas salinas en sus periferias. En la zona cantábrica se presenta también esta combinación (lám. III). Allí existen cúpulas salinas en las zonas tabulares, e intrusio-

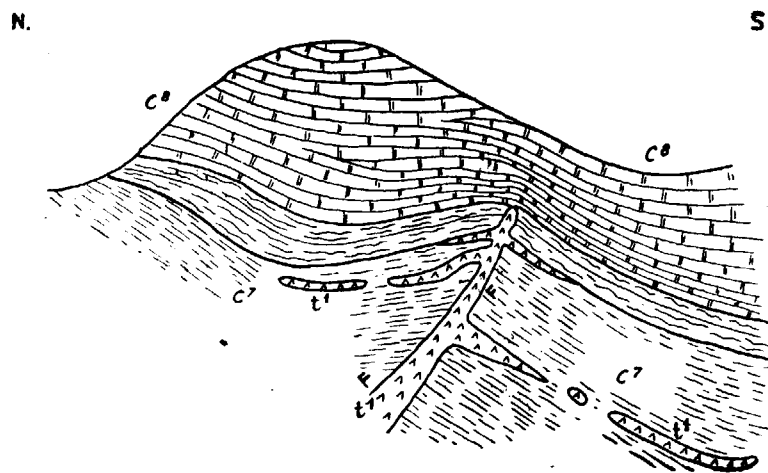


Fig. 20.—Corte esquematizado del Irzer Ikarkhane y Valle de Soummam, Golfo de Bugía. (Según Ehrmann, 1923.)

c¹: Arcilla pizarreña.—c²: Calizas margosas con *Inoceramus*.—t¹: Triás intrusivo.

nes laminares (Cubilla, al borde los Obarenes) en otras, próximas, pero de intenso plegamiento.

Las intrusiones laminares salinas cuando su inserción está facilitada por la estratificación y pizarrosidad de las capas, pueden simular, por su morfología, un verdadero fenómeno eruptivo, como ocurre en las inyecciones keuperianas de la cábila de Baborg, golfo de Bugía, Argelia. Presenta toda clase de filones, diques, lacolitos (fig. 20) y,

como indica Ehrmann (44), es muy frecuente en Argelia que el triás aflore con aspecto filoniano, incluso en áreas bastante extensas.

La región marroquí de El Gharb, es una de las que muestran magníficamente la intervención del keuper, dando un carácter peculiar a la tectónica alpina. El precioso corte de Yovanovitch (45), fig. 21, nos muestra cómo en ella se combinan las manifestaciones diapíricas de pliegue y las inserciones laminares.

Presentamos también unos esquemas (fig. 22) tomados de Lacoste (46), en que se presentan varios accidentes típicos de la zona diapírica del Rif meridional. Lacoste los atribuye todos a presiones tangenciales, incluso los domos salíferos de El Rharb. Clasifica las diversas situaciones tectónicas del triás salino del Rif meridional en los siguientes tipos (47):

1.º Triás en los anticlinales. El triás existe en los ejes de los anticlinales en situación de «avance tectónico». En este sentido, la mayor parte de los anticlinales pueden ser considerados como pliegues diapíricos. La intensidad de la penetración es variable, y puede atravesar el cretáceo, o el cretáceo, eoceno y mioceno (El Rharb), y en casos extre-

(44) F. Ehrmann: «De la situation du Trias et son role tectonique dans la Kabylie des Baborgs».—C. R. Som. et Bull. de la Soc. Géol. de France. IV Sér., T. XXII. 1922.

(45) B. Yovanovitch: «La Géologie du Pétrole au Maroc».—C. R. Som. et Bull. de la Soc. Géol. de France. IV Sér., T. XXII. 1922.

(46) J. Lacoste: «Etudes Géologiques dans le Rif Meridional».—Service des Mines et de la Carte Géologique du Protectorat de la République Française au Maroc. Rabat, 1934.

(47) J. Lacoste: «Sur quelques situations tectoniques du trias dans le Rif Meridional».—C. R. Som. des S. de la Soc. Géologique de France, 1931.

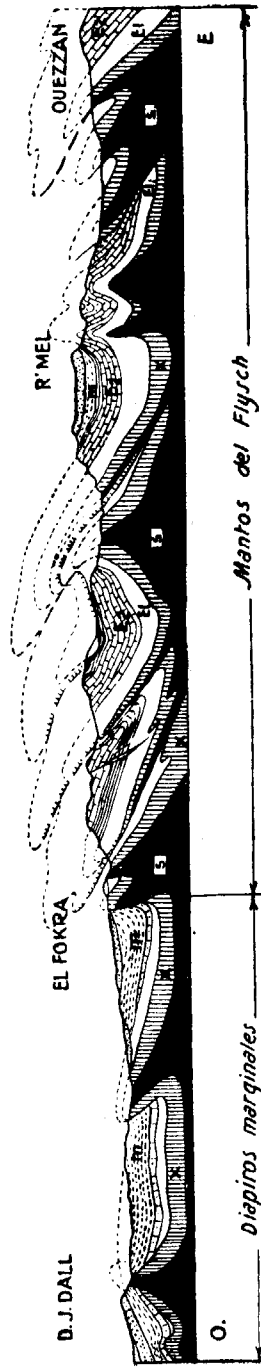


Fig. 21.—Corte general a través del Gharb. (Según Yovanovitch, 1923.)

s: Triásico.—x: Formaciones no definidas.—E₁: Suessoniense.—E₂: Luteciense.—m: Helveciense.

mos incluso ha prolongado su ascensión aun más tarde, levantando el plioceno (El Rharb, Arbasua). La presencia de bloques arrancados al fondo demuestra su origen profundo.

2.º Triás en los sinclinales. Más raramente el triás aparece en los ejes de los sinclinales, como en el caso, muy claro, del Wad Teheris.

3.º Triás en las márgenes de las imbricaciones. Entre las escamas típicas del Rif meridional el triás plástico se inyecta, insinuándose en los planos de discontinuidad entre las escamas.

4.º Triás en relación con las fallas profundas. El material salino utiliza las fallas, así como todas aquellas zonas señaladas de menor resistencia, como medio de alcanzar las regiones superiores, arrastrando bloques de las formaciones que atraviesa.

5.º Paquetes desgajados del núcleo triásico. Por estimamiento de un núcleo perforante salino puede la parte más avanzada de la masa perder contacto con la raíz y, una vez separada, o bien tiende a continuar su ascensión vertical o puede ser obligada por las presiones tectónicas (tangenciales) a intruirse entre los planos de estratificación de las capas que atraviesa, produciéndose así esas masas tan anómalas y llamativas, de keuper interestratificado a niveles desconcertantes y aparentemente absurdos.

6.º Triás colocado entre el cretáceo y el numulítico. Se llega a esta misma situación por este mecanismo, muy importante para explicar la tectónica del Rif. Según Lacoste, el origen de esta anomalía se debe a movimientos orogénicos prenumulíticos en el seno del sinclinal cretáceo. El triás ha perforado, como consecuencia de estas presiones, la cobertura jurásico-cretácea, o al menos ha llegado cerca de la superficie. En plegamientos posteriores, oligocenos y

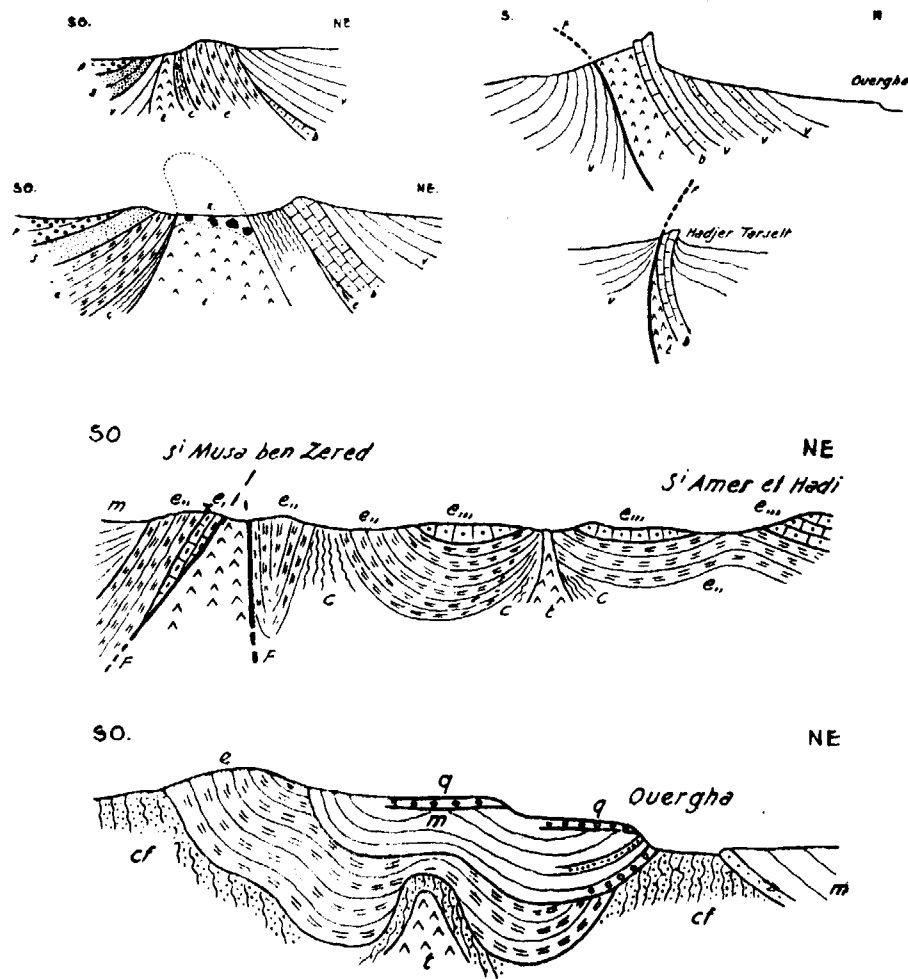


Fig. 22. - Tectónica salitera en el Rif meridional. (Según Lacoste, 1934.)

Pliegues de Sidi Cherif y Sidi Bachir. —t: Trías. —k: Klippes de profundidad (sienitas, calizas paleozoicas, micacitas, etcétera). —c: Margas pizarreñas del cretáceo superior. —e: Margas blancas con sílex, del eoceno. —b: Molasa arenosa del mioceno. —v: Margas azules vindobonienses. —s: Arenas amarillas y rojas del sahelienese. —p: Cantos y conglomerados del plioceno.

Domos del Rharb (corte Sidi Moussa ben Zered a Sidi Ameer el Hadi). t: Margas abigarradas, yesos y carniolas del triás. c: Cretáceo margoso con foraminíferos. e_i y e_{ii}: Luteciense de calizas nu-

miocenos, el triás plástico se ha insinuado en la zona de discordancia, origen de despegues locales.

DIAPIRISMO EN PORTUGAL. AREAS TIFÓNICAS. —Según los antecedentes que he podido recoger, corresponde a Leymerie (48) el honor de haber fijado, con la creación de un sustantivo, un concepto tectónico de sentido diapírico. Propuso el nombre de «tifón» (49) para representar el peculiar modo de erupción de las ofitas, como «expansiones de materia eruptiva que parece haber hecho esfuerzo para surgir del suelo». Como se ve, por su etimología y definición, el adjetivo tifónico expresa, en cierto modo, las características del fenómeno diapírico, si bien Leymerie lo usó en un sentido restringido a las manifestaciones volcánicas. Choffat, en cambio, fué el que al designar como tifónicos determinados accidentes tectónicos que afectan a capas secundarias de Portugal, definió por primera vez un

multíticas y margas blancas. —e_{iii}: Arenas oligocenas con glauconia. —m: Margas vindobonienses.

Perforaciones salinas de anticlinales. Accidentes de Kelaa de Sless y Hadjer Tarselt. —t: Trías; ofitas, carniolas y calizas fértidas muy laminadas. —b: Molasa burdigaliense. —v: Margas y areniscas vindobonienses.

Corte de las orillas del Ouerga, cerca de Fes el Bali. —t: Trías (sal, dolomías y ofitas). —cf: Cretáceo inferior de facies flych arenosa. e: Eoceno. —m: Vindoboniense. —q: Terrazas del Ouerga.

Los primeros movimientos tectónicos jurásicos han provocado la creación de pliegues diapiros, y éstos han alcanzado la superficie probablemente con los movimientos del cretáceo. La ascensión de la sal ha sido reanimada y sostenida por los plegamientos oligocenos. Cada movimiento ha originado nuevos pliegues diapiros. Estos ascienden, aun probablemente en la actualidad, pero no en escala que permita medirlo.

(48) A. Leymerie: «Description Géologique et Paleontologique des Pyrénées de la Haute Garonne». —Toulouse, 1881.

(49) Tifón, hijo de Saturno y de la Tierra, cuyos flancos desgarró para salir violentamente de su seno.

fenómeno neta y típicamente diapírico, de tipo general. Ciertamente que la explicación de su génesis ha sido rechazada posteriormente, pero sus figuras y descripciones, y el concepto del fenómeno y de su morfología, están completamente dentro del sentido diapírico.

La palabra «tifón» y su adjetivo «tifónico» cayeron luego en desuso, pero por su origen, su sentido y aplicación, así como por su sonoridad, hubieran merecido la pena de conservarse.

Hasta que Mrazec, en el año 1907, no creó la voz «diapirismo», el concepto perdió precisión, y quizá fué de ello no pequeña causa la poca fortuna que acompañó a la designación «tifónico». De haberse seguido usando, el concepto se habría afirmado en vez de diluirse y no hubiera sido necesario su redescubrimiento.

Existen en la costa atlántica portuguesa unas áreas caracterizadas por típicas manifestaciones diapíricas. La más importante, y la de más antiguo conocida, es la que ligada al arco cretáceo de Figueira da Foz-Pombal-Nazareth describió Choffat, en 1882, como área tifónica de Monte Real (50).

Estas áreas están integradas por varios valles tifónicos, que no son sino las formas geográficas resultantes del desmantelamiento de anticlinales, cuyos flancos suelen armar en el jurásico superior o cretáceo, y cuyas capas buzan periféricamente al exterior, con inclinación mayor o menor. Son valles amplios con aspecto de llanuras, bordeadas casi

(50) P. Choffat: «Note préliminaire sur les vallées tiphoniques et les éruptions d'Ophite et de Teschenite en Portugal».—Bull. Soc. Géol. de France, 3.^o S., T. X., 1882, y «Nouvelles données sur les vallées tiphoniques et sur les éruptions d'ophite et de teschenite en Portugal». — Journal de Ciencias Math. Phys e Nat. Lisboa, 1884.

siempre por colinas, constituidas por estas calizas jurásicas y cretáceas. Su tendido fondo está constituido por materiales muy blandos, las margas rojas, a las que Choffat denominó como margas de Dagorda, por su localidad más característica. Tectónicamente se caracterizan por su forma redondeada, por la tendencia a terminar periclinalmente en sus extremidades, así como por la supresión tectónica en los flancos de parte de la serie de estratos que constituyen la secuencia estratigráfica normal, de modo que las margas del fondo se encuentran con frecuencia en contactos anormales con diversos niveles jurásicos más altos, o aun cretáceos. Toda esta disposición resulta de, y corresponde a, su estructura diapírica.

Según la descripción de Choffat, los materiales que integran estas estructuras son las siguientes: el material diapírico, o «tifónico», está constituido por las margas de Dagorda. Son margas de vivos colores rojos, manchadas de azul, verde o negro; contiene yesos fibrosos, en masas, o más generalmente diseminados en las margas, incoloros o más raramente negros, rojos y azulados, y también sales, puestas de manifiesto por abundantes manantiales de aguas cloruradas, y cuarzos bipiramidados (51).

Su descripción corresponde exactamente a la del Keuper de facies germánica. Dadas su posición estratigráfica y su aspecto, los geólogos de este lado de la frontera las hubiésemos incluido en dicha formación, tanto más cuanto que contienen los típicos «Jacintos de Compostela».

(51) En conexión con las manchas ofíticas se citan también las malaquitas. Pensamos si no se tratará de la aerinita. De apariencia idéntica, es una especie mineral descubierta en España, en las ofitas de la provincia de Huesca. Quizás esta determinación de Choffat, ya muy antigua, ha sido rectificadas posteriormente, si es que realmente se trata de la aerinita.

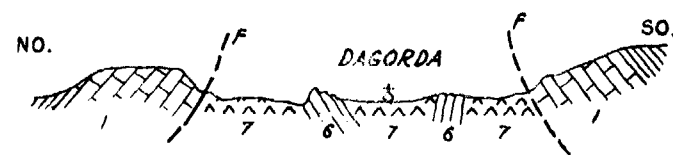
Pero a partir del estudio hecho por Choffat de las formaciones liásicas de Portugal, nuestros colegas portugueses las consideran ya como liásicas, incluyéndolas en el infralías.

Entre estas margas, y diseminadas en su área, aparecen cabezos o montículos de alturas diversas, y nunca muy grandes, de calizas dolomíticas negras o gris amarillentas, con brechas y carniolas. Se disponen en bancos regulares y casi siempre muy inclinados que, cuando se presentan muy próximos a las rocas de las márgenes encajantes del diapiro, buzan en el mismo sentido que éstas. En ellas se ha encontrado abundante fauna salobre, que ha permitido su identificación. Existen, además, también en el área de las margas y, diseminados, domos de ofita.

Su descripción corresponde exactamente a la de los materiales de nuestros diapiros triásicos; las margas de Dagorda corresponden a nuestro keuper, las calizas y carniolas a nuestras dolomías retienses. Si se trata de formaciones homotáxicas o de meras diferencias de apreciación, es cuestión que no podemos dilucidar, puesto que no las conocemos.

Por los esquemas de la figura 23 (52) se pone de manifiesto el neto carácter diapírico, perfectamente reconocido y señalado por Choffat, y para el cual creó el adjetivo de «tifónico», pero la explicación de las causas es excesivamente simplista, ya que supone que los macizos calizos laterales enmarcantes se han hundido verticalmente, provocando un movimiento ascensional del macizo intermedio

(52) Estos esquemas son, en lo esencial, los originales de Choffat, en los que he intentado una interpretación más moderna, de acuerdo con las circunstancias observadas en diversos diapiros españoles. No deben, pues, considerarse más que como meras interpretaciones modificativas en el detalle, pero respetando la idea básica de Choffat.



VALLE TIFÓNICO DE DAGORDA



VALLE TIFÓNICO DE SERRA DEL REI

1: Calizas del malm. — 2: Calloviense. — 3: Batoniense. 4: Bajociense. 5: Liásico. — 6: Dolomías del hetangiense-sinemuriense. — 7: Margas salino-yesíferas del infralías.

Escala 1 : 20 000

Fig. 23.—Los esquemas de la figura 23 son reproducción de los originales de P. Choffat, pero en ellos he intentado una interpretación tectónica de acuerdo con su estructura diapírica. En el valle tifónico de Serra del Rei se observa que el flanco derecho, con liás, dogger y malm, presenta una serie mucho más completa que el izquierdo, donde existen el liás y el malm, pero falta el dogger.

En la charnela anticlinal aparecen las margas salíferas, y en su masa un isleo de calizas del malm, que probablemente «flotan» sobre aquél. Serían restos del techo anticlinal. El contacto entre 6-7 y 5 es seguramente anormal, y representa la superficie tectónica del diapiro. El liás constituye quizás una aureola de arrastre, ya que en el flanco izquierdo está en contacto con el malm, probablemente por supresión tectónica del bajociense, bathoniense y calloviense. La disposición y buzamientos de las calizas del malm en el flanco izquierdo quizás indican un flanco invertido, como ocurre frecuentemente en los diapiros. Insistimos en que esta interpretación es nuestra y puramente especulativa. La de Choffat es más sencilla. Téngase en cuenta que estas fallas son superficies de rotura, a lo largo de las cuales se ha verificado el deslizamiento de las margas salíferas y constituyen, en general, perímetros cerrados. No tienen nada que ver con el concepto general de falla por hundimiento.

triásico-infraliásico fácilmente deformable. En una interesante publicación de Carrington da Costa (53) vemos que Margerie y Heim pensaban, con respecto a estos valles tifónicos de Portugal (54), que la zona margosa intermedia emergía como un bloque en forma de cuña, limitado por dos fallas compresivas inclinadas en sentido contrario, y cuyo mecanismo funciona a merced de compresiones laterales.

Carrington da Costa incluye estos fenómenos tifónicos de Choffat en los diapíricos, según la definición de Mrazec, y dentro de éstos en aquellos diapiros de funcionamiento tectónico propiamente dicho, en oposición a los de tipo isostático (55), si bien admite que la diferencia de densidades facilitó el movimiento ascensional. Las edades de los movimientos que originaron estos fenómenos tifónicos han debido ser distintas, pero según Carrington da Costa los más importantes son los neo-alpínicos.

ZONA SUB-PIRENAICA FRANCESA.—Es muy rica también en manifestaciones diapíricas de varios tipos. Abundan los estudios sobre ella, y Viennot (56) creó la voz «extrusión» para el tipo estructural, variante del diapirismo que caracteriza esa zona.

(53) J. Carrington da Costa: «Un caso de asfaltizacão e os dobramentos desarmónicos».—Bol. da Soc. Geol. de Portugal. Vol. I., fasc. I. Oporto, 1941.

(54) A. Heim y E. de Margerie: «Les dislocations de l'écorce terrestre».—Zurich, 1898.

(55) J. Carrington da Costa: «Valles tifónicos, diapirismo y algunas consideraciones sobre la ocurrencia de los saís de potasio».—Facultad de Ciencias de Oporto, n.º 38, 3.ª sc. Oporto, 1944.

(56) P. Viennot: «Sur les extrusions, accidents spéciaux et très aberrants qui jalonnent le bord des Pyrénées françaises».—C. R. Ac. Sc., t. CLXXXVI. 1928.

Otro geólogo francés, Fournier (57), reclama para sí el primer lugar en el estudio sistemático de este tipo de tectónica y de la correcta interpretación de los fenómenos que caen actualmente bajo la denominación de diapíricos. El los denominó como «cúpulas en seta» (Domes en champignon), constituidas por un complejo de masas plásticas del triás; calizas magnesianas y carniolas, menos plásticas, y por rocas muy duras, como son las ofitas. Al tiempo de enunciarse por Fournier este tipo tectónico, fué considerado por Bertrand como un «imposible mecánico», si bien en realidad fué admitido sin dificultad y ahora permanentemente aceptado bajo la denominación de «pliegues diapiros».

Es muy interesante hacer notar aquí que no limitó Fournier el diapirismo a las manifestaciones triásicas. Señala que en la Baja Provenza existen unos pequeños macizos de dolomía infraliásica que surgen bruscamente entre el aptense y el albense, ambos de textura margoso-pizarrena, dispuestos en una cuenca sinclinal. Están enraizados en el substratum, es decir, son autóctonos.

Las formaciones plásticas son, en efecto, las más apropiadas para producir el fenómeno diapírico, pero por la repetición de ejemplos de este tipo pudiéramos sacar la idea equivocada de que sólo ellos lo ocasionan. Citaré más adelante ejemplos españoles, que he interpretado como estructuras de tipo perforante, es decir, afines a los diapiros, en que materiales duros (en este caso calizas liásicas) perforan formaciones aptenses-albenses.

Como son sólo formaciones plásticas las que pueden producir diapiros por isostasia, es evidente que estos casos

(57) E. Fournier: «Sur le type structural dit extrusion».—Bull. Soc. Géol. de France. 1931.

en que las masas perforantes son más rígidas, han de incluirse también en el grupo que estudiamos ahora de los que tienen su origen en las presiones tangenciales. No podría ser otra su explicación.

La ignorancia de su naturaleza diapírica ha hecho que con frecuencia, en el pasado, afloramientos triásicos, que luego han resultado autóctonos, fueran interpretados como «isleos» por cobijadura (fig. 9).

Fournier pudo de este modo señalar que en la región pirenaica francesa todos los afloramientos triásicos de la llanura surpirenaica son pliegues extrusivos o, dicho de otro modo, diapiros enraizados.

En el caso del keuper, sin embargo, la revisión y rectificación de estos casos ha sido sencilla, pero cuando se trata de diapirismo de rocas duras la equivocación es mucho más fácil de hacer, y más difícil de detectar.

Es el extraño caso de las «extrusiones» definidas por Viennot (58), en que materiales no plásticos atraviesan diapíricamente otros poco plásticos, quedando ambos en una mutua disposición muy paradójica.

Según Viennot, «la extrusión es un tipo estructural muy aberrante y no descrito hasta ahora (1928), caracterizado por la salida brutal, en medio de una potente serie pizarreña, de capas de su substratum, las cuales se muestran, aunque muy laminadas, en disposición isoclinal con las pizarras, y seccionadas lateralmente de tal manera que entre aquellas y estas capas se simula un rápido cambio lateral».

Esta compleja definición corresponde a una situación geológica igualmente difícil y compleja. En un principio

(58) P. Viennot: «Première contribution a la connaissance des extrusions Pyrénées». Bull. des Serv. de la Carte Géol. de France, número 171. 1928.

fué creada para determinados casos del país vasco-francés, en que contactos anormales hicieron concebir a Bertrand una explicación estructural de la vertiente Norte del Pirineo, basada en la existencia de varios mantos de arrastre.

El complejo estratigráfico es el siguiente: sobre el típico triás lagunar hay una serie calizo-dolomítica, poco clara, que va desde el liásico hasta el aptense inferior. Esta serie sustenta un conjunto pizarreño, que comprende desde las pizarras negras del aptense superior-albense hasta el flysch margoso pizarreño del cretáceo superior, reuniendo en conjunto espesores enormes.

El fenómeno extrusivo, en su interpretación original, abarca aquellos casos en que masas del complejo calizo, bien jurásicas o bien aptenses, aparecen entre las pizarras más modernas, separadas de ellas por contornos cerrados, caprichosos, constituidos por cizallamientos. Es decir, las masas calizas aparecen indentadas, engranadas en las masas pizarreñas más modernas. Los contactos bruscos e irregulares simulan bruscos pasos laterales.

Viennot, que primeramente siguió las interpretaciones de Bertrand, opinó luego que se trataba de accidentes enraizados, como atestiguan su forma de anticlinales agudos, con terminaciones perianticlinales (en los casos más claros y sencillos), así como las relaciones de isoclinalidad absoluta entre los flancos de las formaciones encajantes y la extruída. La violencia de este fenómeno tectónico viene subrayada por las aureolas, o fajeado aureolar, de las formaciones y su supresión parcial, así como por las brechas de fricción que acompañan. Las indentaciones, con su complicado e irregular contorno en estrella, son prueba de que los accidentes no están delimitados por fallas verticales, sino por complicados y casi incomprensibles cizallamientos (fig. 24).

Explicado así el fenómeno es confuso y poco verosímil, pero la autoridad de geólogo tan experimentado como Viennot, apoyada en la detallada exposición de diversos

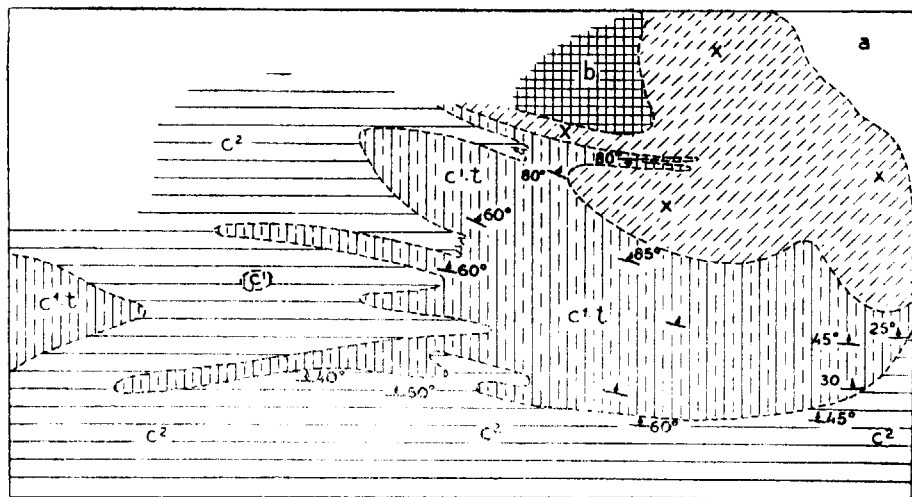


Fig. 24.—Extrusión de Bédat-de-Bagnères (Pirineo occidental francés). Según Viennot, 1928.

X: Pizarras micáceas de edad paleozoica convertidas por metamorfismo en filones de cuarzo.—c¹t: Complejo marmóreo (trias-aptense inferior).—c¹: Caliza marmórea atribuible al aptense inferior.—b: Brecha probablemente sedimentaria, compuesta de elementos de pizarras paleozoicas y de calizas y dolomías secundarias.—a: Aluviones.

casos, sustenta suficientemente su aplicación a los casos originales.

Convence menos cuando trata de extender su aplicación, definiendo la extrusión como un tipo tectónico especial característico de casi todo el lado francés del Pirineo, a cuyo largo se presenta casi siempre el complejo margoso. Serían extrusivas la mayor parte de las relaciones entre éste y la masa de terrenos más antigua, con la que está en contacto.

La presencia del keuper salino tendría una relación al parecer importante, pero no claramente especificada, con la extrusión. Pero Viennot más bien parece indicar que le añade complejidad, que lo acentúa más bien que causarlo. Las extrusiones de Viennot, cuando van afectadas de salidas de keuper, o las extrusiones netamente keuperianas, parecerían ser netos fenómenos diapíricos.

Viennot describe (59) en la región de Oloron una zona de típico e intenso diapirismo de variadas especies. En su génesis intervienen las presiones tangenciales, pero admite que una vez iniciado por ellas el movimiento ascensional, la isostasia puede prolongar y sostener el funcionamiento.

Su descripción, muy abreviada, es la siguiente: la zona prepirenaica, al Oeste del meridiano de Oloron, aparece constelada de accidentes aberrantes, donde el keuper desempeña el papel fundamental. Es una región interesante, porque los sondeos efectuados han permitido establecer los hechos. Algunos han entrado más de 1.200 metros en las margas abigarradas, yesíferas y muy salíferas, sin alcanzar su fondo.

Los accidentes más importantes son esencialmente domos salinos, cuyo núcleo plástico (brecha de sal) está aureolada de brechas de fricción y engloba láminas de los terrenos, más modernos, que la circundan. Los sondeos han demostrado que el keuper se extravierte, desparramándose sobre terrenos más recientes.

Parece que el complejo plástico continúa emigrando hacia las soluciones de continuidad superficiales, después de terminados los empujes orogénicos, bajo el peso de las

(59) Pierre Viennot: «Sur les injections de trias dans le Bassin de l'Adour».—C. R. des Séances de l'Académie des Sciences. T. 190. Paris, 1930.

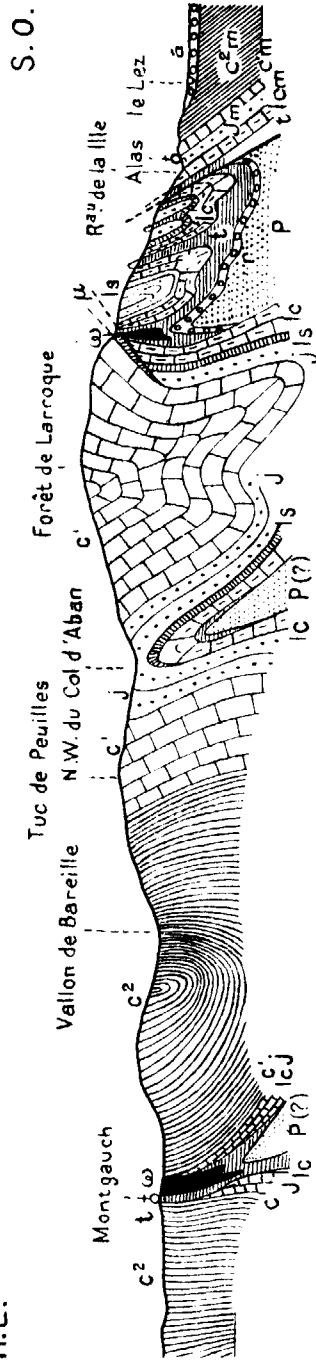


Fig. 25.—Corte del macizo de Forêt de Larroque, mostrando al NO. el pliegue diapírico de Montgauch, con triás perforante; al SO. el anticlinorio de Balaguères, con láminas salinas insertadas por despegues del triás, y el anticlinal, con núcleo diapírico de Alas. (Según Casteras, 1933.)

P: Terrenos paleozoicos del zócalo herciniano. — p: Permotriás. — t: Triásico. — ω: Ofita. — bc: Lías inferior. — is: Lías medio y superior pizarreño. — j: Dolomías jurásicas. — c¹: Calizas urgonienses. — c²: Margas albenas. — lcm: Lías metamórfico. — jm: Dolomías jurásicas metamorfizadas. — c³mi: Calizas urgonienses metamorfizadas. — c³m: Pizarras albenas metamorfizadas. — ft: Zona de migamientos.

potentísimas masas de sedimentos acumulados sobre las zonas sinclinales vecinas.

Pero además, en aquella cuenca del Adour se encuentran todos los tipos de transición entre el verdadero domo de sal, como accidente clásico, y los más aberrantes. Algún domo pasa a convertirse lateralmente en un anticlinal casi simétrico, bajo el cual se ha comprobado, mediante sondeos, la continuidad de la formación salina. Otras veces se inserta laminar, o filonianamente, en las formas más caprichosas. Pero en otros casos, las manchas salinas aparecen desconectadas de estos accidentes lineales, en forma completamente aislada e independiente, como filones capas o lentejones, y su génesis correspondería al de las inyecciones filonianas.

Otros casos interesantes describe Casteras (60) en la zona sub-pirenaica francesa. La fig. 25 muestra uno de ellos en la zona Alas-Montgauch. Como muchas veces, a ambos lados del Pirineo axial, el triás yesoso desempeña un papel tectónico muy peculiar. Como consecuencia de su plasticidad, este material tiene una gran facilidad de migración, una gran movilidad propia y una tectónica especial. Desempeña, si llega el caso, el papel de un lubricante en la base de la serie secundaria y facilita los resbalamientos de conjunto, así como los despegues de la cobertura. Sin que sea necesario invocar la acción de fuerzas tangenciales enormes, se le ve inyectarse en los ejes de los pliegues (diapiros) según las disposiciones más complejas. El triás yesoso se puede acumular en profundidad, en masas enormes y, después, ser objeto de migraciones

(60) M. Casteras: «Recherches sur la structure du versant Nord des Pyrénées Centrales et Orientales».—Bull. des Trav. de la Carte Géologique de France, n.º 189. 1933.

secundarias. Empujado hacia arriba camina a lo largo de grandes fracturas tectónicas y una vez alcanzada la superficie se extravasa sobre terrenos más recientes. Estas inserciones salinas tienen por prototipo la «giclure», en verdad apenas diferente de la inyección filoniana.

ZONA SUBPIRENAICA ESPAÑOLA (fig. 26). — El área subpirenaica española es riquísima en manifestaciones diapíricas del keuper, variadísimas en sus tipos.

Debidas siempre a empujes tangenciales, vamos a señalar tres magníficos ejemplos: los diapiros de Artesa de Segre y Montmagastre, en Lérida, y el de Barbastro, en Huesca, que estudié hace pocos años con los Sres. Almela y Garrido. Todos ellos aparecen en los ejes de agudos anticlinales en medio de extensas áreas oligocenas.

Diapiro de Artesa de Segre (fig. 26, al pie). — Aparece entre el oligoceno, que afecta la facies tan característica en toda la cuenca del Ebro y se compone de arcillas rojas, bancos de arenisca y, subordinados, bancos de pudinga.

La masa principal del diapiro está constituida por unas calizas secundarias, rojizo amarillentas que, en general, están materialmente trituradas, constituyendo una típica milonita; algunos elementos, sin embargo, se conservan más enteros y muestran la estratificación. En ellos vimos fragmentos de pecten, y en la masa triturada nos pareció reconocer fragmentos de hippurites.

Nos inclinamos a creer que se trata de las calizas campanienses.

Un manchoncito de margas grises parecería ser de edad eocena.

El keuper ocupa un área relativamente reducida del afloramiento y está constituido por las margas abigarradas yesíferas. Existen afloramientos ofíticos, muy alterados

por meteorización. Su aspecto está tan cambiado por este motivo que presentan la apariencia de margas grises oscuras. Hay, en cambio, bolos redondeados de ofita. Parte

TRES DIAPIROS EN LA ZONA SUB-PIRENAICA ESPAÑOLA

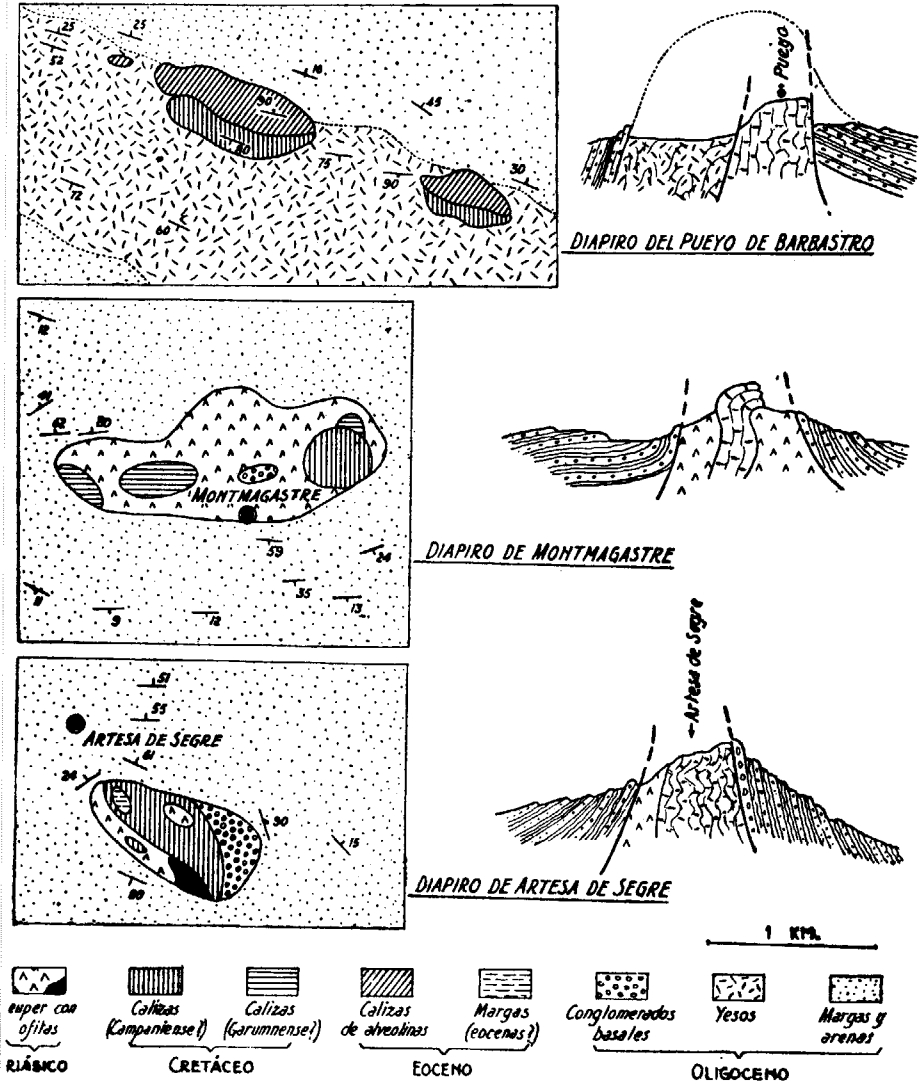


Fig. 26.

del diapiro parecería constituido por el mismo oligoceno, pero perteneciente a niveles más bajos que el que rodea el afloramiento.

Diapiro de Montmagastre (fig. 26, en medio).—Situado a pocos kilómetros del anterior y a su NE. enclava en el oligoceno de mismas características. En su relleno predomina el keuper de margas y yesos rojos y entre ellos existen varias masas de calizas y una de conglomerados.

El mayor bloque de calizas, sobre el que se asienta el castillo, está constituido por calizas rosadas, con gran cantidad de restos fósiles, entre los que hemos visto orbitoides y equínidos. Parecerían senonenses. A trechos milonitizadas, en otros se presenta, en cambio, muy bien estratificada.

Los restantes bloques calizos lo son de caliza muy blanca, compacta y marmórea. Podrían parecer calizas garumnenses de las que abundan en la serie cretácea subpirenaica existente al Oeste, no lejos de allí. Hay una manchita de conglomerados que parecerían ser de base del oligoceno.

Las capas del oligoceno se acercan al diapiro con pendientes suaves y se empujan rápida y bruscamente al contacto con el keuper.

Los buzamientos violentos se limitan a la inmediata proximidad del diapiro.

Hay que advertir que Misch (61), que estudió regionalmente el Pirineo central, interpreta estas estructuras dándoles un carácter apenas diapírico. Para él, los afloramientos mesozoicos se efectúan en forma normal, en núcleos de anticlinales desmantelados. Su contacto con el oligo-

(61) P. Misch: «Geologie der mittleren Südpirenäen».—Abh. der Gees. der Wiss. zu Göttingen. Math. Phys. Kl. 19.

ceno de los flancos sería tectónicamente normal y se verificaría por transgresión del oligoceno. Los anticlinales, rotos, tendrían su núcleo estirado y el flanco Norte cubriría al meridional. La salida efusiva del keuper facilitaría el resbalamiento, y éste sería el único y leve tinte de diapirismo. Pero, a nosotros, esta interpretación nos parece errónea y forzada.

Diapiro del Pueyo de Barbastro (fig. 26, arriba).—Aparece este precioso diapiro, igualmente, en el anticlinal de un pliegue oligoceno. Es uno de los típicos pliegues salinos, en cuya charnela y trastornadísimos, aparecen los yesos de la parte baja del oligoceno. Es un anticlinal agudo, pero muy amplio; a un lado de su charnela, y en contacto ya con la facies oligocena normal de margas y areniscas, aparecen los yesos de la parte baja del oligoceno. El anticlinal es muy disimétrico, pues mientras que en la parte Sur los buzamientos son muy fuertes y continúan con valores elevados a distancias grandes del eje, en la parte Norte las capas se colocan horizontalmente a escasísima distancia del mismo. Parece que existe una rotura a lo largo de este eje y que la parte Sur haya montado sobre el flanco Norte.

Entre la masa de yesos, que al parecer son todos del oligoceno, aparecen grandes elementos de calizas, unas veces trastornados y triturados, otras con clara estratificación. Se aprecian dos tipos distintos: unas calizas, con abundantes alveolinas, parecen ser de la base del eoceno. En las otras, más rojizas, hemos visto secciones de sphaerulites y serían senonenses, probablemente campanienses.

Lo extraño es que no se ve nada que recuerde específicamente el triás. Ciertamente es que entre los yesos del oligoceno quizá pudieran pasar inadvertidos los del keuper, pero creemos que no es ese el caso. Sería mucho más

fácil de explicar el diapiro si el keuper fuera aparente. Creemos que en este caso, y a pesar de la importancia de los fenómenos de despegue, el plegamiento ha afectado también a las formaciones secundarias. Conocemos la región y sabemos que en el borde la formación oligocena se apoya sobre calizas de alveolinas eocenas y, éstas, sobre el cretáceo. No existen allí las masas de margas eocenas que tan importante papel desempeñan en la estratigrafía más al Norte.

No ha de sorprendernos, pues, que tan amplio pliegue haya afectado el substratum de calizas eocenas y cretáceas. Aisladas éstas de su base por el repetido mecanismo de los pliegues salinos de compresión tangencial (fig. 18) han sido elevadas a la superficie («isleos autóctonos» de Lotze).

Tiene importancia esta consideración, porque indicaría que los pliegues salinos del oligoceno pueden ser, a veces, pliegues de fondo.

Digamos de paso que Selzer, que como nosotros ha hecho un estudio regional de la zona subpirenaica de la provincia de Huesca (62), tampoco señala afloramientos triásicos en el Pueyo de Barbastro.

Otras zonas españolas de tectónica diapírica.—Casi todas las zonas españolas de plegamiento alpino presentan en alguna de sus partes tectónica diapírica, a veces con intensidad extraordinaria, que imprime un verdadero sello, caracterizando su estilo. Ello es debido al desarrollo netamente salino y muy extenso del keuper español. Una, en que además de estar muy bien caracterizada ha sido estudiada con detalle (63), es la que se extiende desde las ver-

(62) G. Selzer: «Geologie der Südpirenaischen Sierrren in Oberregionen». —Neues Jahrbuch für Mineralogie, etc. 71. 1934.

(63) Juan Gavala: «Regiones petrolíferas de Andalucía». —Bol. del Inst. Geol. y Min. de España, tomo XIII de la segunda serie. 1916.

tientes occidentales de la Serranía de Ronda hasta las márgenes del Guadalquivir y hasta el Atlántico. Señala allí Gavala una tectónica de despegues, que se verifican en la base del keuper, intensamente plegado. Los núcleos de los pliegues han perforado, a veces, la cobertura terciaria. No pudiendo amoldarse a su envoltura han laminado sus estratos, poniéndose en contacto directo con el mioceno. Así se han formado los anticlinales de núcleo perforante de Espesa y Villamartín.

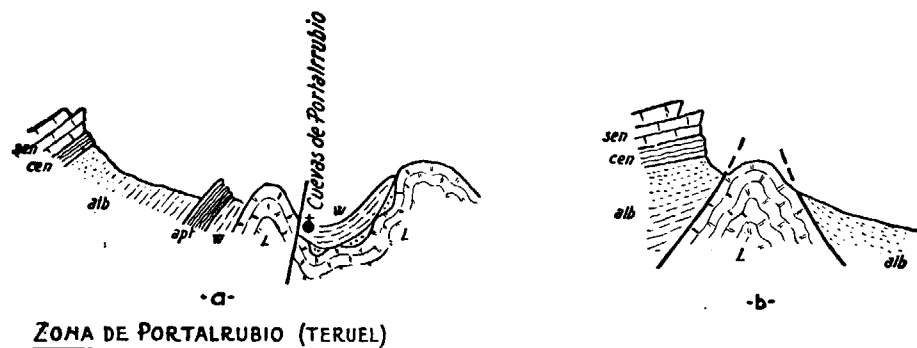
En las sierras costeras de la provincia de Alicante, los fenómenos tectónicos basados en la movilidad del keuper, tienen una importancia extraordinaria, como señaló recientemente Darder en el tomo LVII de este Boletín, y creo que es el mismo el caso de las cordilleras béticas, que apenas conozco.

Pliegues perforantes de núcleo rígido.

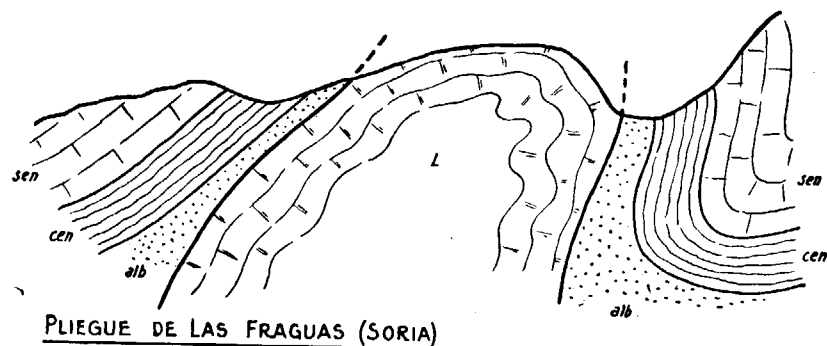
CADENA IBERICA (fig. 27).—Como casos extremos, pero que aun pueden ser incluidos en el grupo de fenómenos diapíricos, están aquellos en que rocas no plásticas atraviesan diapíricamente otras más o menos plásticas.

Ya hemos señalado antes que Fournier citó en la Baja Provenza (57) unos pequeños macizos de dolomías infraliásicas que surgen justamente entre el aptense y el albense margoso-pizarreño, dispuestos en una cuenca sinclinal, y que estarían enraizados en el substratum. Las extrusiones de Fournier, antes descritas, también son diapiros de núcleo rígido, e igualmente lo son algunas de las extrusiones de Viennot, estudiadas antes con algún detalle.

Mucho antes de empezar a ocuparme específicamente del diapirismo y, por consiguiente, de conocer estos ante-



ZONA DE PORTALRUBIO (TERUEL)



PLIEGUE DE LAS FRAGUAS (SORIA)

Fig. 27.—Diapiros de núcleo rígido. La fig. a, representa la serie normal en la zona de Portalrubio. La fig. b, es un pliegue diapiro de núcleo rígido, en que el liás llega a ponerse casi en contacto con el cenomanense, después de atravesar más de 600 metros de cretáceo inferior.

L: Liásico. — w: Wealdense.—apt: Aptense.—alb: Albense.—cen: Cenomanense.—sen: Senonense.

cedentes, señalé que en el pliegue de Las Fraguas (Soria) (64) el liás sale en forma perforante a través del albense, cuya blandura y constitución aprovecha. Lo que me llamó la atención allí, además de las características espe-

(64) J. M. Ríos: «Una nueva mancha liásica en Las Fraguas, provincia de Soria».—Notas y Comunicaciones del Inst. Geol. y Min. de España, n.º 9. 1942.

ciales del pliegue, es que los espesores albenses que quedan en los flancos del anticlinal, entre el cenomanense y el liásico, son muy pequeños, mucho menores que los espesores grandes y bastante uniformes que, según detallados cortes, tiene el albense en aquella región. Así resulta que el liásico queda muy próximo a las capas cenomanenses, cosa que nunca ocurre regionalmente, y que no se ve tampoco en ninguno de los otros y abundantes pliegues de la zona.

Trabajando más tarde en la provincia de Teruel, en la zona lignitífera de Portalrubio-Rillo, observé de nuevo el mismo fenómeno y precisamente en las mismas formaciones. Es sabido que las facies ibéricas son muy constantes desde la Cordillera Cantábrica al Mediterráneo.

En esa zona de Teruel, que estudié con gran minuciosidad obteniendo un detallado mapa y numerosísimos cortes, que espero dar a conocer algún día, se presentan parecidas capas liásicas y unas arenas y areniscas del albense, cuyo espesor no baja de los 600 metros. Además existen capas, poco potentes, del aptense y bajo ellas otras muy arcillosas de facies wealdense.

Pero allí es relativamente frecuente observar cómo núcleos anticlinales, en general cupuliformes, constituidos por las calizas liásicas, perforan las formaciones que tienen encima. El hecho es perceptible por la supresión de los niveles wealdense y aptense, y la reducción o a veces casi total supresión del considerable espesor albense (de 600 metros), de modo que el liásico queda casi en contacto con el cenomanense.

El magnífico braquianticlinal liásico que se extiende desde el mismo pueblo de Rambla de Martín, hacia el Sureste, tiene este carácter. Dos más pequeños, y de forma muy alargada, quedan al Sur de Portalrubio, y entre esta

población y Pancrudo, llegando casi hasta la misma carretera, que es paralela a su alineación.

Pancrudo está en el borde de una masa de calizas liásicas, que en su extremo NO., y todavía en el mismo Pancrudo, tienen este carácter diapírico, que pierden inmediatamente al SE. de Pancrudo. Al Este de Rillo, entre las arenas albenses, hay un gran mogote o peña caliza liásica, cuya disposición no se puede explicar más que diapíricamente.

En la zona de Castellote, de la misma provincia de Teruel, hemos observado el mismo fenómeno, aunque no tan claramente, al Norte del monte Atalaya (NE. inmediato de Castellote), en que aparece el lías perforando al albense, con supresión de aptense y de espesores variables del albense, que en algún sitio desaparece casi por completo.

Del estudio de la tectónica regional he llegado a la conclusión de que los contactos anormales que presentan estas masas liásicas son debidos a empujes tangenciales, que las han obligado a perforar las que tienen encima, y a aflorar entre formaciones más jóvenes, mediante supresión tectónica de otros tramos existentes bajo ellas.

Entra, pues, de lleno en la definición general de diapirismo y son pliegues de núcleo rígido y perforante. El funcionamiento diapírico viene probablemente facilitado por el carácter arcilloso del wealdense y por la blandura y falta de cohesión de las arenas albenses. Es, en cierto modo, un diapirismo a la inversa.

Entre otros, señaló ya Lacoste (46), que el diapirismo no debe considerarse como exclusivo de la tectónica salífera y, según él, se podría distinguir entre diapiros de núcleo plástico y de núcleo resistente, siendo el primero un caso, el más acentuado y de extrema evolución, de este mecanismo.

Tipo diapírico extrusivo.

Por la definición que da Viennot (56), quien explica el término «extrusión» como caracterizado por la salida brutal, en medio de una potente serie margosa pizarreña, de las rocas de su substrato, las cuales aparecen laminadas, mostrándose en disposición isoclinal con las margas y seccionadas lateralmente de modo que sus relaciones simulan un brusco paso lateral, se comprende que nos hallamos frente a un caso aberrante del diapirismo, en que por ambos lados intervienen materiales bastante o realmente rígidos.

En el caso de la hoja de Guillao (Hasparren-Espelete, en el Laburde), son las calizas aptenses las que «extruyen» en las margas pizarreñas más modernas (65) y, a veces, incluso las dolomías jurásicas del infralías.

DIAPIROS ORIGINADOS TOTAL O PARCIALMENTE POR ISOSTASIA

DOMOS SALINOS DEL GOLFO DE MEJICO (figura 28).—Aparecen enclavados en una serie normal y potente, reconocida por sondeos hasta el eoceno, y que termina por arriba con el cuaternario; está dispuesta en amplísima estructura sinclinal y las manifestaciones tectónicas tan-

(65) P. Viennot: «Sur l'existence du type structural dit extrusion dans les Pyrénées de l'Aude». —Bull. de la Soc. Géol. de France, IV Sér., T. 29. 1929.

genciales son inexistentes. Las capas están subhorizontales. La masa de sal (40) forma un inmenso pilar vertical, de forma bastamente circular, cuyos bordes están ligeramente vueltos o volcados hacia el exterior. Su diámetro más corriente varía de 1 a 3,5 kilómetros, con un promedio de dos, aunque alguno llega a los cinco kilómetros. Su profundidad, es decir, la de la formación madre de la sal, es desconocida, así como su edad, ignorándose si se trata de permiano, triásico o infracretáceo. El material está constituido por CINA prácticamente puro, aunque alguna banda contiene escasa anhidrita. En la superficie, la meteorización y precipitación han dado lugar al «sombrero» de «cap rock», tan clásico y típico de los diapiros de cualquier tipo cuando son puramente salinos. En la vecindad de la cúpula salina, los sedimentos cesan de ser horizontales y se levantan por todos los lados contra los flancos del macizo, aumentando el buzamiento a medida que nos acercamos a la sal; a 500 metros de distancia es a veces ya de 45°.

Es evidente, que un accidente de este tipo (y seguimos tomando estos datos de Gignoux), no puede de ninguna manera confundirse con un pliegue falla; vagamente pudiera tomarse por un «horst», pero tampoco es el caso. Se trata de inconfundibles chimeneas salinas, como tipo más neto y cierto de diapirismo, y son debidas a una manifestación de la tendencia al equilibrio isostático en zonas no afectadas por los movimientos tangenciales.

De la misma opinión es Harrison (66), quien refiriéndose a este tema dice: que las abundantes chimeneas salinas que se presentan en los Estados Unidos, desde Méjico

(66) J. V. Harrison: «The Geology of some Salt plugs in Laristan (Southern Persia)».—The Quart. Journ of the Geol. Soc. of London, Vol. 36. 1930.

hasta casi el Canadá, tienen, considerados regionalmente, una cierta analogía con los del Golfo Pérsico, si bien perforan una serie estratigráfica mucho menos plegada. Su disposición tectónica, en ambos casos, es renegante, en el sentido de que se presentan en ámbitos de tranquila y potentísima sedimentación, depositada en la zona marginal de un antepaís y en el arco formado por el frente de unas cordilleras de arrastre. Harrison estima que es posible que un débil plegamiento, reflejo de estos potentes avances, haya iniciado en profundidad la distribución desigual de la sal, cebando así el desequilibrio isostático.

Opina, como consecuencia del examen de las circunstancias en estas y otras regiones del globo, que es condición necesaria la existencia de una pesada, potente y desigual masa de sedimentos gravitando sobre una formación salina preexistente, siendo así el mecanismo isostático el principal actuante cuando la cobertura no muestra señales de plegamiento intenso.

He aquí la descripción que hace Bevier (67) de la cúpula de Damon Mound. Es una señalada elevación redondeada situada al NO. del Brazoria County, Texas, 92 kilómetros al SO. de Houston. Su forma es oval y cubre una superficie de 1.670 acres, elevándose unos 30 metros sobre las inmensas praderas que la rodean. La elevación es consecuencia de una intrusión salina (salt plug) que ha levantado la superficie sobre su posición normal. Se compone de sal gema casi pura, con un sombrero de yesos, anhidrita y celiza. Las formaciones que les rodean se inclinan 45° hacia afuera, en su inmediata proximidad. El afloramiento tiene lugar en el oligoceno.

(67) G. de Bevier: «Bull. of the Am. As. of Petroleum Geologists».

Uno muy curioso es el domo salino y azufroso de Louisiana, que describió Kelly en la misma publicación. Es excepcional por su pequeña área (75 acres), pero aun más por el gran espesor de su «sombrero», superior a 300 metros, en el que se encuentra un depósito, de riqueza excepcional, de azufre nativo. Sobre la sal de la intrusión viene la anhidrita, sobre este sombrero de anhidrita otro de azufre, y sobre éste uno de caliza.

OTROS CASOS TÍPICOS DE FUNCIONAMIENTO ISOSTÁTICO.—Durante mucho tiempo se han discutido posiciones extremas, abogando según sus ideas, unos u otros geólogos, por la exclusividad o, al menos, la importancia fundamental, bien de las presiones tangenciales, bien de la isostasia en el funcionamiento de las chimeneas salinas. Estudiaremos esta cuestión con más detalle en la parte en que analizamos el mecanismo diapírico.

Es cierto que en las ciencias exactas molestan, y parecen falsas, las posiciones eclécticas, como de balancín, en cuyo medio nos situamos muy a nuestro gusto, inclinándonos, según las conveniencias, tan pronto a un lado como a otro.

Pero la naturaleza, en su afán sempiterno de desconcertarnos, nos ofrece mezcladas las soluciones eclécticas y aun las más extremas, combinadas. Como naturalistas no tenemos más remedio que someternos a la realidad de los hechos observados, aunque ello repugne a la rigidez encajadora de fenómenos a que tendemos por nuestra formación matemática.

Los isóstatas, aun en sus posiciones más extremas, necesitan de un esfuerzo tangencial que «cebe» el movimiento ascensional de la sal.

Los dinamistas reconocen una contribución isostática

como ayuda a las presiones tangenciales, y su funcionamiento en tiempos anorogénicos.

Por otra parte, son muchos los ejemplos de zonas en que en una misma región se observan los casos extremos y los intermedios (66').

Ofrecemos ahora dos ejemplos, que son expuestos como casos de puro mecanismo isostático.

CÚPULA SALINA DE SOLENAYA SOPCA, EN LA SIBERIA NÓRDICA (67').—Solenaya Sopca es una montaña de sal, situada en la bahía de Nordvick, en una de las zonas más aisladas de Siberia del Norte. Aparece entre estratos marinos prácticamente horizontales, de edad neocomiense, con algún recubrimiento de terciario marino, y se compone de una masa de cloruro de sodio con algo de arcilla, que le da un aspecto sucio. No se vieron yesos ni otros tipos de sal. Esta procede, probablemente, del siluriano, única formación de la que se conozca, por aquellas latitudes, que contenga sal regionalmente, así como yesos en grandes masas.

Estas sales se encontrarían normalmente a una profundidad de varios miles de metros. Tectónicamente es un domo salino, surgido merced a la plasticidad de la sal, obedeciendo a la gravitación de los enormes espesores sedimentarios superpuestos. Falta la presión orogénica, ya que los estratos mesozoicos están apenas movidos y escasa-

(66') Harrison deduce del estudio de las circunstancias en diversas regiones del globo, que chimeneas salinas pueden presentarse indiferentemente en áreas de plegamiento intenso, moderado o suave, aunque siempre es, en su opinión, necesaria la existencia de una cobertura de gran peso y espesor.

(67') I. P. Tolmachoff: «A salt dome, Solenaya Sopca, in Northern Siberia». Economic Geology. Diciembre, 1926.

mente apartados de su posición horizontal. El mecanismo sería, pues, exclusivamente isostático.

DOMO DE SAL DE MEINHEIM, EN LA CUENCA DEL ALTO RHIN (68).—El domo de sal de Meinheim, en el Alto Rhin, tiene una forma ovalada, midiendo unos 1.200 metros por 8.000 metros. La sal se extiende por lo menos hasta una profundidad de 1.100 metros, y llega hasta 190 metros de la superficie, donde no llega a aflorar, ni nada indica su presencia. Probablemente es aún activo. Ha ascendido hasta el contacto stampiense-sannoisiense. Los estratos aparecen en aquella región sensiblemente horizontales.

Atribuye Friedel su formación al mecanismo combinado de su plasticidad y su ligereza. El mecanismo sería puramente isostático y exigiría:

1.º Una formación de sal suficientemente potente y suficientemente pura para que pueda actuar el factor densidad.

2.º Una cobertura suficientemente potente para que pueda entrar en juego la plasticidad.

3.º Existencia de desniveles locales moderados, para que se cebe el movimiento.

DOMOS SALINOS DE ALEMANIA DEL NORTE (fig. 28).—Presentan, genéticamente, una gran analogía con los americanos, ya que se han formado en un geosinclinal dotado de una potente cobertura sedimentaria que abarca desde el paleozoico hasta el cuaternario. Las capas salinas provienen del Zechstein.

(68) G. Friedel: «Sur l'existence d'un dome de sel dans le bassin potassique oligocène d'Haute Rhin».—C. R. des S. de l'Ac. des Sc. Mayo, 1927.

Pero mientras que el geosinclinal en que enclavan los domos norteamericanos no ha funcionado orogénicamente, en la zona alemana de cúpulas salinas la tectónica regional es compleja (Gignoux, 40), y ha sido originada por considerables empujes tangenciales. Hay toda clase de transiciones entre los anticlinales con núcleo salino y las cúpulas salinas. Predominan los primeros en la zona Sur, donde la cobertura sedimentaria es poco potente y los plegamientos son intensos. Las segundas, que morfológi-

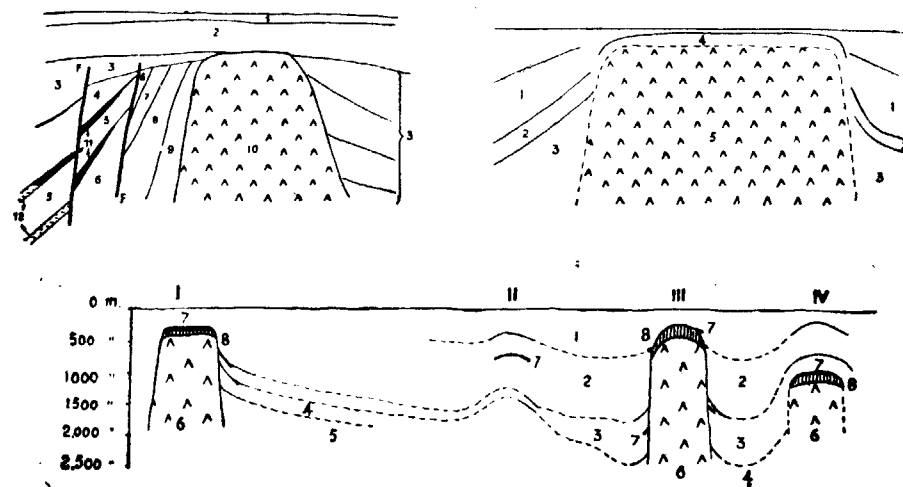
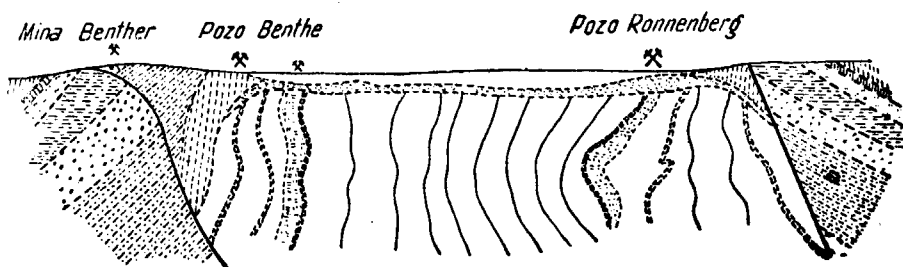
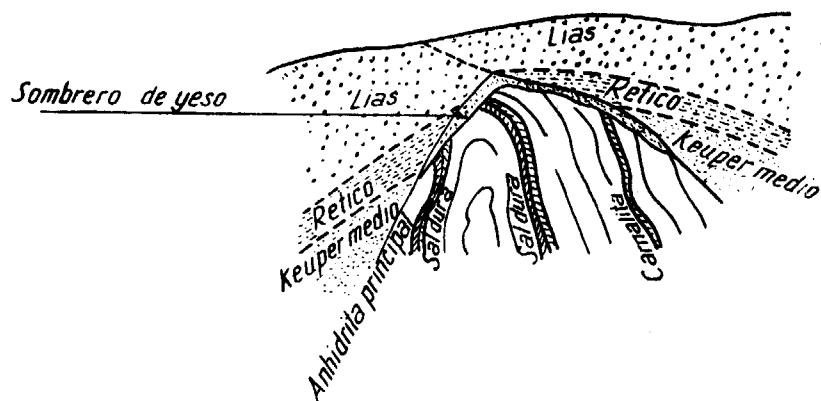


Fig. 28.

- a: Macizo de sal en Hannóver (según Bentz).—10: Macizo de sal.—9, 8, 7: Triás.—6: Liásico.—5: Dogger.—4: Cretáceo inferior.—3: Cretáceo superior.—2: Terciario.—1: Cuaternario.
- b: Domo de Damon Mound, Texas (según Bevier).—1: Mioceno (Fleming).—2: Oligoceno.—3: Eoceno (Jackson).—4: Cap rock.—5: Sal.
- c: Corte a lo largo de una región de domos en la Gulf Coast, de Texas (según Murphy y Hudson).—1: Cuaternario y plioceno.—2: Mioceno.—3: Oligoceno.—4, 5: Eoceno.—6: Domos de sal.—8: Cap rock.—I: Domo de Humble.—II: Domo de Esperson.—III: Domo de Barbers Hill.—IV: Domo de Lost Lake. (Tomado de Macovei, 1938.)



CHIMENEA SALINA DE BENTHER



ESQUEMA DE LA CHIMENEA SALINA DE EINIGKEIT, EN FALLERSLEBEN

Fig. 29.

T + D: Terciario y diluvial.—mo: Muschelkalk superior.—so: Röt.—mn: Muschelkalk medio.—sm: Buntsandstein medio.—mu: Muschelkalk inferior.—su: Buntsandstein inferior.—zg: Sombrero de yeso.—z: Sal del zechstein.—zd: Arcilla roja salifera.—zc: Silvinita.—zb: Anhidrita principal y arcilla gris.—za: Sal dura. (Según Stille, 1910.)

camente son muy parecidas a las de Texas y Louisiana, se presentan en las zonas septentrionales (Norte de Hannover), donde hay una potente cobertura de sedimentos recientes que se presenta poco trastornada en las zonas

de domos salinos. La figura 29 muestra ejemplos de estos tipos (69).

Stille (siempre según Gignoux), se ha esforzado en demostrar que esta ascensión ha sido discontinua, y que los períodos de ascensión de la sal han coincidido con las fases orogénicas (70); pero esta versión resulta cada vez menos neta.

El espesor que alcanza la formación salina «madre» en el lugar del domo es muy considerable, y estas acumulaciones no se conciben más que alimentadas por una llamada («appel») lateral. Ha habido, pues, necesariamente migración de la sal contenida en la capa primitiva, y esta migración, que es vertical en el domo, ha debido de ser horizontal en su vecindad.

Se deduce que en las zonas comprendidas entre los domos la capa de sal ha debido de quedar empobrecida y disminuída.

Es posible que esta concentración de sal, que ha «cegado» el movimiento, resulte de alguna conexión, por otra parte evidente, de los macizos salinos con los fenómenos de plegamiento. Las fuerzas orogénicas han intervenido, al menos, como iniciadoras del movimiento inicial, pero el estilo especial de esta tectónica salífera reside en la materia misma de los macizos salinos, y su causa principal es el reajuste de equilibrios isostáticos.

(69) H. Stille: «Das aufsteigen des Salzgebirges». - Zeitsch. für Prakt. Geol. 1911.

(70) Véase más adelante, en la parte titulada «El mecanismo diapírico», una explicación detallada de las ideas de Stille.

DIAPIROS DE MECANISMO MIXTO ENTRE TANGENCIAL E ISOSTÁTICO

MONTAÑAS DE SAL DEL SUR DE ARGELIA.—

Estas montañas de sal (Gignoux, 40), presentan mucho más acentuadamente que los domos alemanes la doble influencia del mecanismo tangencial e isostático. Su tipo, afloramientos alargados constituídos por materiales del triás superior, y la tectónica regional, nos indican netamente la acción de esfuerzos tangenciales. Son pliegues en seta, que originan afloramientos de keuper formando colinas altas o verdaderas montañas.

Pero precisamente esta paradoja morfológica de que las masas incoherentes y desagregadas de la formación se eleven en montañas de más de 500 metros de cota absoluta sobre la llanura terciaria, indica que el macizo salífero asciende todavía, y que su velocidad de ascensión es mayor que la de demolición por erosión. Dado que la región parece en la actualidad tectónicamente tranquila, sólo el reajuste isostático puede explicar la prosecución del mecanismo diapírico.

GLACIARES SALINOS DEL LARISTAN (SO. DE PERSIA).—Y en un caso extremado y notabilísimo de funcionamiento actual de diapiros, nos ofrecen los domos salinos («plugg of salt») del Laristán (71), que han roto a tra-

(71) R. H. Rastall: «Lake and Rastall's Text book of Geology».—5.ª edición. Londres, 1945.

vés de enormes espesores, quizá de 6.000 m. de estratos plegados, y han alcanzado la superficie. En los afloramientos la sal fluye con frecuencia, constituyendo por su mecanismo, e incluso por su color y morfología, una imitación muy buena de un glaciar. Como en todas las zonas «regionalmente» diapíricas, las sales han hecho aflorar masas de cambriano y quizá de estratos más antiguos, que son desconocidos en la región.

Esta región ofrece tantísimo interés, por la abundancia y ejemplaridad de sus chimeneas salinas, que nos ocuparemos de ella, más adelante, con mayor extensión, dedicándole un capítulo aparte.

TIPOS DE TECTÓNICA SEMIDIAPÍRICA CONDICIONADA POR LA GRAN PLASTICIDAD DE LOS MATERIALES

SIBRRAS MARGINALES DE HUESCA Y LÉRIDA.—La existencia de casos de diapirismo en materiales rígidos, si bien es realmente excepcional y en cierto modo aberrante, nos obliga a ampliar el concepto de diapirismo.

Tampoco coincide exactamente el concepto de diapirismo con el de tectónica de los materiales de gran movilidad. Stille (72) definió la «tectónica normal» («Normaltektonik») como la tectónica de las rocas de movilidad normal,

(72) H. Stille: «Grundfragen der vergleichenden Tektonik».—Berlín, 1924. Gebrüder Borntraeger.

en oposición a los cambios tectónicos que experimentan las masas de gran movilidad.

Cuando intervienen este tipo de materiales, y el keuper es un magnífico ejemplo, se producen entonces tipos tectónicos peculiares en los que no predomina el diapirismo, pero que van siempre acompañados por él, bien en forma de pliegues-falla diapíricos, o de inserciones laminares salinas. El diapirismo es una consecuencia del tipo tectónico más general, y no es fenómeno esencial, sino accesorio. Por eso podemos denominarlo como tectonía semidiapírica, aunque este nombre no sea muy apropiado. Subraya Stille, que sólo para la «tectónica normal» es válida la ley de los «sincronismos orogénicos», y que es muy otro el caso de la tectónica de materiales plásticos.

El rasgo más general, en la base de este tipo tectónico, es el despegue en masa de todas las formaciones, a veces en uno sólo, o casi siempre en los dos planos limitantes (techo y muro) de la masa de material plástico.

En España tenemos magníficos ejemplos de este semidiapirismo.

En la zona subpirenaica de Huesca y Lérida creo que se reproduce el caso de Cantabria, pero con consecuencias distintas, debido a que lo son también las circunstancias sedimentarias. Existe allí, a partir del cretáceo inferior, un surco que se rellena de potentes espesores cretáceos y eocenos, si bien éstos no alcanzan la portentosa cifra de los espesores cantábricos; las formaciones continentales desempeñan un papel menos importante que en la zona cantábrica (el garumnense es el único que pasa, en la zona de Coll de Nargó, los 1.000 metros). Parece que el peso de los materiales hubiera desplazado el keuper del geosinclinal, en mayor o menor medida, acumulándolo en las márgenes.

Entonces está en condiciones de producirse en ellas un fenómeno tectónico regido por la plasticidad de los materiales, pero que en vez de ser como en la zona cantábrica netamente diapírico (chimeneas salinas), es solamente semi-diapírico, y quizás ello es debido a la mayor ligereza de la cobertura, compuesta por un cretáceo superior, relativamente poco potente, y un eoceno algo más, pero no exageradamente grueso. El conjunto, aunque potente, es comparativamente mucho menor en la zona subpirenaica que en la cantábrica, de espesores verdaderamente excepcionales.

El eje de la depresión viene a coincidir, *grosso modo*, con el de la «Conca de Tremp» y su prolongación en Huesca. Simétricamente dispuestas con respecto a él, y en ambas márgenes, se sitúan las zonas semi-diapíricas. Una de ellas, la meridional, es la zona de pequeñas sierras marginales que se extienden desde la de Santo Domingo, en Huesca, hasta Artesa de Segre, en Lérida. La septentrional bordea la zona paleozoica axial. En ambas, pero sobre todo en la meridional, una serie de bloques cretáceo-eocenos flotan en despegue sobre el keuper. Todos ellos están plegados por las fases pirenaicas y sávicas, pero sus direcciones son en general cruzadas y anormales, por la intervención del keuper en su tectónica, y se presentan desordenadas y confusas.

Presentan el tipo «inyectivo» de Stille, con amplios sinclinales separados por estrechos y violentos anticlinales, casi siempre rotos, y en los que sale, diapíricamente, el keuper. Fajas irregulares de este material, dirigidas en todas direcciones, separan unos bloques de otros.

Nos gustaría presentar un mapa de estas zonas, más expresivo que toda explicación, pero por su complicación no nos es posible darlo. Puede verlo el lector en nuestro

reciente mapa geológico de la provincia de Lérida (73), y seguir los detalles de la explicación o, aun con más detalle, en el mapa de Misch y en su explicación, ilustrada por magníficos cortes (61). También tendrían, quizás, un lugar más apropiado en este apartado las que hemos señalado anteriormente bajo el título: «Otras zonas españolas de tectónica diapírica».

DIAPIRISMO DE LAS ROCAS HIPOGENICAS

Como hemos visto, el diapirismo, en su acepción más amplia, admite muchos tipos distintos de fenómenos, caracterizados todos ellos por desarrollarse en formaciones plásticas y, sobre todo, salíferas, bien sean aquéllas las perforantes, que es el caso más corriente, o las perforadas.

Existe un enorme conjunto de manifestaciones que afectan a rocas hipogénicas, que tanto por su mecanismo como por su morfología encajan de lleno en la definición de diapirismo.

En los pliegues bálticos es sabido que infinidad de intrusiones, inyecciones y diques de rocas ígneas, atraviesan otras rocas hipogénicas, metamórficas o sedimentarias muy antiguas. Su estudio requiere una técnica muy especial, que ha sido inteligentemente desarrollada por los geólogos de los países nórdicos. Tanto su tectónica como sus problemas, al menos en la escala que allí se presen-

(73) A. Almela y J. M. Ríos: «Mapa geológico de Lérida, a escala 1:200.000».— Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 1947.

tan, son ajenos a la geología nuestra. Por esta razón prescindiremos del análisis de este tipo de diapirismo, cuyo estudio desarrollaron Backlund, Beckmann y muchos otros. Además, es un conjunto tan complejo que requeriría por lo menos tanto espacio como el dedicado al diapirismo normal en países de la constitución estratigráfica y tectónica del nuestro. Las rocas intrusivas están dotadas de plasticidad, pero además entran otros factores, como son su elevada temperatura, que facilita las reacciones químicas, absorción y digestión de las rocas encajantes y, por consiguiente, la penetración del diapiro.

Pero aunque sea con brevedad nos ocuparemos del caso en que masas intrusivas funcionan diapíricamente atravesando formaciones sedimentarias modernas, en regiones en que las rocas hipogénicas no constituyen la masa principal de la corteza.

Como ejemplo de chimeneas eruptivas cita Gignoux (40) los macizos peperíticos de la Auvernia, que aparecen como gigantescos pilares a través del oligoceno de la Limagne. Su parecido con los domos salinos está acentuado por el hecho de que los sedimentos oligocenos de la Limagne están apenas ondulados, y no hay ningún motivo para hacer jugar el mecanismo de empujes tangenciales.

El eje de las chimeneas o columnas está constituido por basaltos, y alrededor hay una zona en que fragmentos oligocenos de todas dimensiones se mezclan a la roca eruptiva. Al acercarnos a ellas, los sedimentos oligocenos se levantan bruscamente, y están triturados y fracturados.

Marcel Bertrand ha llamado la atención sobre la coincidencia de ciertos macizos graníticos con líneas anticlinales en regiones plegadas. En este caso tendríamos el otro tipo diapírico, en que actúan primordialmente las presiones debidas a las fuerzas orogénicas, viniendo auxiliadas por

la potencia de disolución y asimilación que tienen las rocas hipogénicas.

Para cerrar este apartado reproduciremos unas consideraciones de Glangeaud (74).

En la costa argelina, y a lo largo de 300 kilómetros de longitud, existe una serie de manifestaciones intrusivas y efusivas (volcánicas) de tipos muy variados por sus mate-

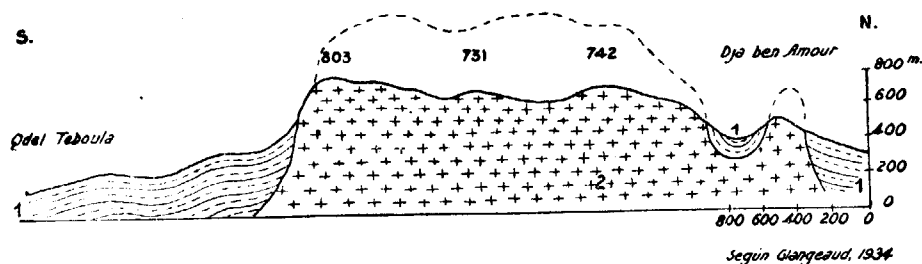


Fig. 30.—La bysmalita de Cavallo (Djidjelli).

1: Eoceno superior. — 2: Microgranodiorita.

riales y su morfología. Entre las rocas intrusivas hay granitos, doleritas, granodioritas, monzonitas, etcétera. La serie estratigráfica reconocida abarca desde el luteciense hasta el plioceno. Han actuado varias fases orogénicas. El paroxismo principal es de edad luteciense. Las formaciones están casi siempre muy plegadas. Las intrusiones son del tipo filoniano, sill y lacolito, apófisis batolíticas y, finalmente, del tipo bysmalítico y «volcanic plug». Este tipo «bysmalítico» es muy interesante, por su parecido morfológico con una chimenea salina. Un macizo de microgranodiorita cuarcífera (en Cavallo, Djidjelli, fig. 30),

(74) L. Glangeaud: «Sur les différents modes des gisements des roches intrusives tertiaires du littoral algérien, de Térias a Djidjelli. Leurs relations avec la tectonique de l'Atlas». — Bull. Soc. Géol. de France, 5.ª Sér. 1934.

atraviesa, por empuje vertical, las capas del eoceno. El metamorfismo de contacto es variable y, en general, muy pequeño. No excede nunca de cuatro metros y, en general, se limita a una aureola de pocos centímetros. El diámetro del macizo es grande. Su forma corresponde vagamente a la de un cuadrado de cuatro kilómetros de lado. Existen unas intrusiones accesorias («volcanic plugs») de 300-700 metros de diámetro.

Casi todas las intrusiones son post-tectónicas pero, para que sea mayor el parecido de las «bysmalitas» con las chimeneas salinas, hay que hacer notar que tiene lugar precisamente en las zonas *poco* o *nada* plegadas.

A juicio de Glangeaud, la intrusión se ha debido producir en dos tiempos, siendo el magma en el primero plástico, y bastante más rígido en el segundo.

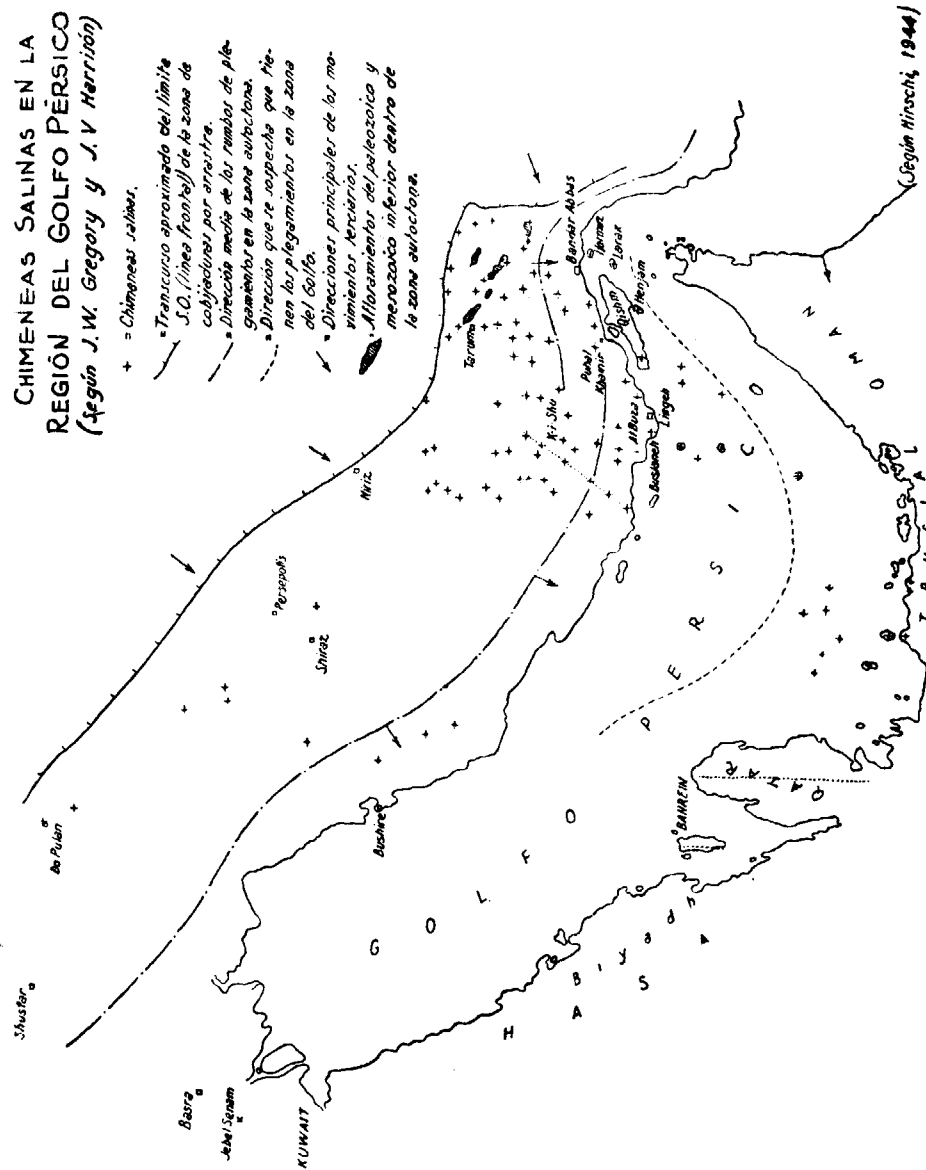
UNA REGION DIAPIRICA NOTABLE: EL MUESTRARIO DIAPIRICO DEL GOLFO PERSICO

Merece la pena desglosar del capítulo de los estilos diapíricos una notabilísima región, cuyo análisis detallado empezó hace relativamente pocos años: la región del Golfo Pérsico.

Conforme va avanzando su estudio se pone de manifiesto más claramente la ejemplaridad de los estilos diapíricos que ofrece, y que constituyen, según la literatura que hemos tenido a nuestro alcance, un verdadero muestrario de magníficos ejemplos diapíricos que arrojan clara luz sobre su mecanismo. Con seguridad permitirán fijar en lo futuro, cuando se complete su estudio, detalles que aun quedan como dudosos, ya que muchas de las estructuras han sido exploradas aún muy someramente. En una palabra, es una región extensa y variada, donde todavía queda mucho trabajo que llevar a cabo.

De pasada la hemos mencionado ya, para no dejar incompleta la revista de los diversos estilos diapíricos, en este caso con ejemplos de diapiros aun incuestionablemente «vivos». Pero su estudio más detallado es muy conveniente para hacer resaltar, tanto sus notables analogías como sus peculiares diferencias con nuestras cúpulas sali-

CHIMENEAS SALINAS EN LA REGIÓN DEL GOLFO PÉRSICO (Según J.W. Gregory y J.V. Herrington)



nas de la región cantábrica, así como por la contribución que aportan al conocimiento del mecanismo diapírico.

Nuestros datos sobre esa región derivan, sobre todo, de un reciente trabajo de H. Hirschi (76).

El mapa de la fig. 31 muestra la distribución de los apófisis salinos en una región extensísima. Algunos de ellos surgen como islas en el Golfo Pérsico.

Estos apófisis salinos se dividen, según el origen de sus materiales, en dos grupos, los constituidos por masas salinas procedentes del paleozoico y los de material mioceno.

Morfología.

Los macizos salinos de material paleozoico afectan, en general, forma redondeada u oval, y una dimensión transversal de unos 5-10 kilómetros, siendo la de la masa salina (77) de 1-8 kilómetros. La elevación sobre la contornada es sumamente variable, pudiendo ser apenas perceptible o llegar a los 1.000 metros.

Aquellos macizos que surgen como islas del Golfo Pérsico, cuya profundidad apenas llega a los 100 metros, no se elevan, como máximo, a más de 150 metros sobre el nivel del mar. Su morfología, primitivamente idéntica a la de las apófisis continentales, aparece deformada por leixación y acumulación de bancos de arena; esta deformación es post-pleistocena, ya que la invasión marina del Golfo Pérsico es de aquella edad.

(76) H. Hirschi: «Über Persiens Salzstöcke». — Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, Band XXIV. Heft 1/2. Zurich, 1944.

(77) Es decir, sin las rocas paleozoicas de arrastre.

Las apófisis de la formación salina miocena yacen dentro de una zona relativamente pequeña de la gran depresión central persa. De morfología más variable, afectan algunas la forma oval o redondeada, mientras que otras ofrecen contornos muy irregulares. La misma variabilidad presentan las dimensiones, que pueden ser de 300-500 metros, o llegar a los tres kilómetros. La elevación topográfica es menor que en las anteriores, y no excede los 250 metros, siendo, a veces, mucho más pequeña.

Las masas salinas presentan, en general, formas agudísimas y peligrosamente afiladas para el que las ha de recorrer, y otras veces constituyen sus superficies complicadas «karrenfelder», todo ello debido a la disolución por las aguas atmosféricas. De modo que su exploración, casi siempre incómoda, es a veces extraordinariamente penosa.

El auténtico «cuello» de la chimenea no es casi nunca observable, debido a la expansión y fluencia lateral de la sal, pero hay motivos para suponer que su sección primitiva era casi siempre oval-circular.

Los materiales.

a) Chimeneas de material paleozoico.

El material salino de estas chimeneas proviene de las discutidas series de «Hormuz», y se les ha atribuido muy diversas edades, desde el cambriano hasta el oligoceno. La incertidumbre reinante acerca de su edad tiene tres causas: 1.^a La monotonía petrográfica de las series del Golfo Pérsico, cualquiera que sea su edad (con yesos y sales en muy distintos horizontes geológicos). 2.^a La exigua extensión de los afloramientos de la serie de Hormuz. 3.^a La com-

plicación tectónica de las zonas en que se manifiesta. Pilgrim (78), uno de los geólogos que han estudiado regionalmente la zona del Golfo Pérsico, atribuía, con dudas, la sal al triásico, y el resto de las formaciones de la serie de Hormuz al jurásico. Gregory, muy buen conocedor de los problemas geológicos de Asia, atribuye el conjunto de la serie salina al cambriano. Se basa para ello no sólo en el estudio de las manifestaciones pérsicas, sino en su analogía de todo orden (salvo el magmático) con las formaciones indias («Salt Range of India»), cuya edad cambriana está demostrada paleontológicamente (*Redlichia*, *Lingulella*, *Hyolithes*, *Neobulus*, *Lakhamina*, *Ptychoparia*, *Stenotheca*, *Trilobites*, etc.) en especies características del cambriano inferior y medio (zona de Paradoxides).

Para Hirschi (76), no hay duda de que la parte salina de la serie de Hormuz es de edad cambriana, y las sales que la acompañan quizá más antiguas que el cambriano medio. Y puesto que en esta apreciación coincide con Gregory y con Richardson (79), que han estudiado a fondo los problemas geológicos regionales, podemos considerar la edad cambriana de la sal de la serie de Hormuz como suficientemente justificada, y casi definitivamente establecida.

La edad de las rocas eruptivas relacionadas es variable y aun incierta. Algunas se observan como mantos entre las hiladas más altas de la serie, y en todo caso son más antiguas que el cretáceo superior, ya que no se han observado manifestaciones eruptivas más modernas.

(78) G. E. Pilgrim: «The Geology of parts of the Persian Provinces of Fars, Kirman, Laristan». — Mem. Geol. Surv. India, Vol. XLVIII, Part. 2. Calcuta.

(79) R. K. Richardson: «Die Geologie und die Salzdome im SW. Teile des Persischen Golfes», 1926 «Weitere Bemerkungen zu der Geologie und der Salzaufbrüchen am Persischen Golf». — Zentralblatt. Min. Geol. u. Pal. Abt. B. 1928.

A pesar de que las diferentes manifestaciones diapíricas están, a veces, sumamente distantes, es notable la extraordinaria uniformidad de los caracteres mineralógicos y petrográficos de sus formaciones. Estas pueden dividirse en tres grupos o paquetes:

Grupo superior.—Mantos residuales con pórfidos cuarcíferos y tobas en masas o aglomerados, recubiertos de 300-400 metros de formaciones yesosas con calizas y areniscas.

Grupo medio.—Formaciones de dolomías y anhidritas.

Grupo basal.—Sales estratificadas o en masas.

Pasemos ahora un rápido examen a las características de las rocas que componen estos tres grupos.

Entre las rocas eruptivas, tanto básicas, medias o ácidas, asociadas a las chimeneas salinas de la serie de Hormuz, hay ciertos tipos que predominan, como son los pórfidos cuarcíferos y sus tobas y escorias derivadas, conocidas como de tipo riolítico. Las siguen en importancia las rocas gabroides (gabros y diabasas), las serpentinas, ofitas y dioritas, especialmente las rocas cuarzo dioríticas. Muy subordinados aparecen granitos puros, especialmente hornablenda. Son rarísimas las rocas sieníticas.

Entre las metamórficas se han visto gneis graníticos, gneis, pizarras cristalinas y filadíos, pero indudablemente son precambrianos y más antiguos que la serie de Hormuz.

Entre las sedimentarias son las más señaladas las siguientes:

Areniscas.—Finas o gruesamente estratificadas; unas veces con cantos y cementadas, otras sueltas; micáceas, cementadas o compactas.

Arcillas y margas.—Generalmente muy bien estratificadas. Brillantísimos colores, de tonalidades que pasan de púrpura, o escarlata, a rojo teja, rojo sangre, o vinosas; del violeta al lila; más raros son los colores oscuros, de tonos negros, verdes o verde cobre.

Dolomías.—Impuras y más o menos arenosas; grises, pardas-amarillentas u oscuras cuando son fétidas. En ellas se hallaron fósiles cambrianos.

Sales.—Impregnando las demás rocas o en masas de dimensiones kilométricas. De colores rojos, pardos o verdosos; textura fajeada o replegada.

Yesos.—Anhidritas o yesos en bancos, o impregnando otras rocas, incluso las tobas y aglomerados volcánicos. De tonos blancos a rojos y ocre, grises o negros. Parece que deban considerarse como de formación primaria sólo los correspondientes a los 400 metros más altos del grupo superior.

Son notabilísimas las formaciones de hematites, de brillo metálico, presentes donde abundan las manifestaciones eruptivas. Cuando son de origen primario, estas hematites, proceden de un proceso hidrotermal volcánico, pero muchas veces su origen es secundario. Hay magníficos cristales idiomórficos, o ejemplares de bellísimas irisaciones metálicas. A veces aparecen como un polvo fino en grandes espesores, y se aprovechan como mena de ocre. Otro mineral abundante, de origen igualmente volcánico, es el azufre. Choca, en cambio, la ausencia de los sulfuros, en especial del sulfuro de hierro.

b) Chimeneas de material mioceno.

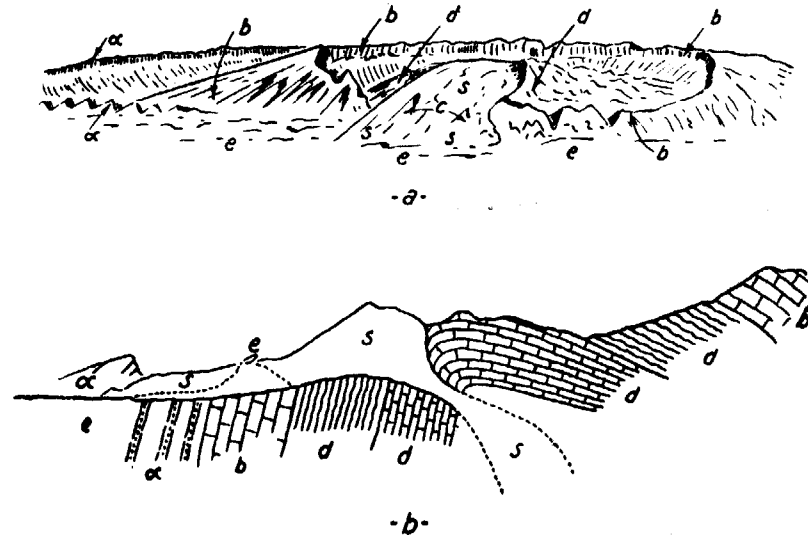
El relleno de estas chimeneas proviene de la parte superior del mioceno (parte inferior de la serie de Fars), pues aunque no se encontraron fósiles, estos materiales yacen concordantes sobre capas con una abundantísima fauna litoral del stampiense. Se acumulan en un sistema de perfecta estratificación, bellísimamente fajeada, que alcanza un espesor de 1.500 metros. Los materiales arcilloso-margoso-arenosos tienen colores y tonalidades muy abigarradas y alegres, de vivos tonos rojo teja o vinosos, violetas, amarillos o blancos, verde cobre o grises. Algunos horizontes están impregnados de sal, yesos o anhidrita. Los conglomerados son raros. En las capas basales el yeso y la anhidrita forman bancos de varios metros de espesor, o lentejones grandes. Los sedimentos son, en general, blandos. La sal muestra un bello fajeado, debido a su impregnación de polvo de hematites, que le comunica un color rojo oscuro. Por disolución de la sal queda el polvo de hematites formando una costra resistente, la cual protege a aquella de posterior disolución.

Funcionamiento tectónico.

a) Chimeneas de material paleozoico.

Las chimeneas salinas se sitúan preferentemente (y seguimos siempre exponiendo en forma abreviada los datos de H. Hirschi) en las culminaciones de domos y anticlinales. Para Hirschi supone este hecho una confirmación de las primitivas ideas de Stille, según las cuales su creación

es debida a la acción de fuerzas tectónicas operando sobre masas salinas situadas a una profundidad de varios miles de metros. Estas masas (incluyendo no sólo las sales, sino también las arcillas, yesos y anhidritas que la acompa-



Apofisis Salina de Kuh-i-Anguru (Golfo Pérsico)

α: Mioceno inf., capas salinas, yesos, calizas

b: Oligoceno y eoceno (calizas y margas)

c: Restos de "b" (Calizas de Khamir) sobrealzados de la sal

d: Margas y calizas del Cretáceo sup.

s: Margas salinas (series de Hormuz)

e: Llanura aluvial

Fig. 32.

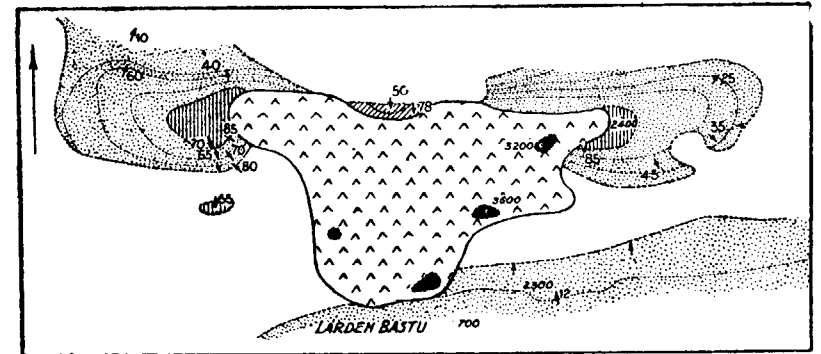
ñan), están dotadas de una plasticidad muy grande, de modo que sujetas a presiones tectónicas aquel hecho se traduce en una gran movilidad, acumulándose en zonas de menor resistencia y en ámbitos de expansión.

Choca el hecho de que otras, en cambio, se sitúen en aquellas zonas de los anticlinales en que el flanco inicia ya un marcado descenso. Y, aunque más raros, tampoco faltan aquellos casos de chimeneas que se sitúan francamente en los flancos anticlinales. Para Hirschi esta circunstancia es difícilmente explicable, y se justifica, porque en la *localización de la acumulación* intervienen factores muy importantes, como son la disposición del yacente de la sal («bed rock»), y en la *elección de la zona de ascensión* las características petrográficas y sedimentarias de las formaciones al techo de la formación salina.

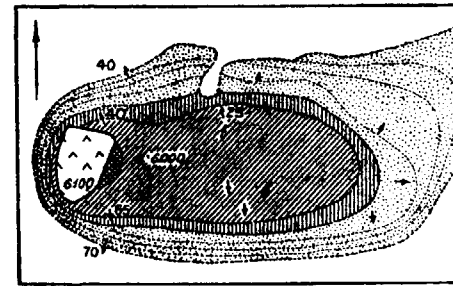
A veces estas formaciones están rotas por fallas, y entonces el fenómeno, análogamente a lo que ocurre con los magmas eruptivos, aprovecha estas líneas de debilidad; la realidad de este fenómeno es observable en el Golfo Pérsico, sobre todo cuando las fallas cortan flancos anticlinales. Hay que advertir que estas fallas y sistemas de fallas no alcanzan necesariamente la superficie. Gregory señaló que determinadas chimeneas salinas del Golfo Pérsico se disponen en alineaciones oblicuas con respecto a los ejes de los pliegues terciarios, pero en la superficie no hay huella de fallas o sistemas de fallas. Añadamos que las intrusiones salinas son modernas; no más antiguas que el Plioceno.

Gregory e Hirschi coinciden en la importancia que afecta en la localización de las chimeneas un factor invisible en la superficie, actuante en profundidad. Este factor lo constituyen los viejos rasgos tectónicos («trends of Paleozoic movements», de Gregory) que han creado en profundidad rígidos bloques y alineaciones resistentes, de disposición renegante con respecto a los rasgos tectónicos superficiales modernos. Los estudios regionales son los que los ponen de manifiesto.

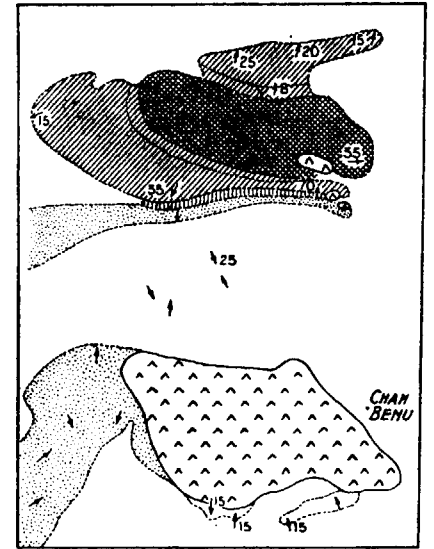
Hirschi y Gregory señalan que la ascensión de los ma-



CHIMENEA SALINA DE KUH-I-BAM



CHIMENEA SALINA DE KUH-I-SHUR



CHIMENEA SALINAS DE CHAH-BENU Y KUH-QALEH-SHUR

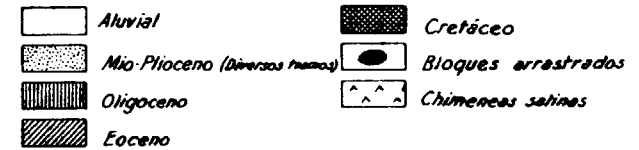


Fig. 33.

teriales salinos debe de estar muy condicionada, y regida por las circunstancias locales, y la consecuencia es que las perforaciones ocurren en épocas muy distintas y que sus proporciones sean muy variables. Hay chimeneas que alcanzaron la superficie ya durante el eoceno, para cesar su funcionamiento en el mioceno. Otras, en cambio, desarrolladas igualmente durante el terciario inferior, han funcionado con repetidos movimientos tectónicos hasta los tiempos más modernos, de modo que en ellas las capas mio-pliocenas se levantan intensamente y se apilan contra los materiales de la serie de Hormuz. Algunas chimeneas están cortadas por fallas post-pliocenas.

Ninguna alcanzó la superficie antes del eoceno, y las últimas en alcanzarla lo hicieron en el plioceno superior o ya en el pleistoceno (entre estas últimas figura la de Kuh-i-Anguru, fig. 32). Los movimientos tectónicos están puestos de manifiesto muy claramente por las discordancias intra-terciarias, así como por sus abundantes cambios de facies y presencia de conglomerados. En las chimeneas más modernas las circunstancias estratigráficas y tectónicas son de una claridad ejemplar inigualable, y en ellas los sedimentos del eoceno, oligoceno y mioceno se muestran perfectamente concordantes. La potencia de las formaciones (cretáceo + terciario) atravesadas por la serie de Hormuz se calcula en más de 5.000 metros.

Las alineaciones más generales de las chimeneas salinas se consideran como un reflejo de las directrices de los movimientos paleozoicos.

Hirschi ha compuesto el siguiente cuadro de facies de la génesis de las chimeneas salinas, advirtiendo que es tentativo, ya que el cúmulo de datos locales y regionales es aún insuficiente para otra cosa que intentos de generalización:

Eoceno-oligoceno inferior.—Sedimentación en potentes masas, movimientos tectónicos con pliegues y cabalgamientos que originan el desarrollo de las primeras chimeneas salinas. Muchas alcanzan la superficie y son presa de la erosión (conglomerados eocenos con cantos de rocas procedentes de las series de Hormuz).

Mioceno.—Movimientos orogénicos inestables, señalados regionalmente por vivos cambios de facies (regresiones, erosiones, transgresiones).

Plioceno.—Momento álgido de los movimientos tectónicos. Mantos de arrastre al Este, NE. y Norte de la región del Golfo Pérsico. Surgen nuevas chimeneas salinas y otras se reaniman, o son cortadas por los cabalgamientos y fallas. Erosión intensa.

Plioceno-pleistoceno.—Persistencia de los movimientos tectónicos y aparición de las últimas chimeneas salinas. Invasión marina del Golfo Pérsico.

Pleistoceno-actual.—Movimientos tectónicos, póstumos, reavivan algunas chimeneas, que aun funcionan en la actualidad.

Comparación con las chimeneas salinas cantábricas.

Expuestas las características de las del Golfo Pérsico conviene compararlas con las de nuestras chimeneas salinas de la zona cantábrica.

A lo largo de la descripción que hemos extractado de la obra de Hirschi, habrá podido observar el lector la sorprendente analogía de todo orden que guardan ambas. Va-

mos a subrayar tanto las semejanzas como las disparidades que ofrecen ambas zonas.

Morfológicamente se parecen por su sección circular-oval, así como por el tamaño, aunque el de las del Golfo Pérsico es más variable. Las mayores chimeneas de allí son del orden del promedio de las nuestras. El relieve de las españolas es mucho menor, pero dadas las circunstancias climáticas no es sorprendente este detalle, ya que éstas están enclavadas en zonas de tipo más bien lluvioso; las del Golfo Pérsico, por el contrario, en climas secos, casi desérticos.

Es sorprendente la analogía de los materiales que integran unas y otras, tanto más cuanto que la mayor parte de las del Golfo Pérsico están rellenas de materiales cambrianos; las nuestras de materiales triásicos. La mera enunciación de las rocas subraya la analogía; en ambos casos se trata de dolomías, sales, yesos y margas abigarradas, como elementos esenciales. Pero el parecido es chocante si se consideran los colores, texturas, disposición, etc. No se sabría distinguir, a juzgar por las descripciones, entre unos y otros materiales. Recordemos que, para que la analogía sea mayor, uno de los diapiros cantábricos, el de Estella, presenta gneises y filadios. La mayor diferencia reside en los materiales cristalinos, mucho más variados, con sus granitos, pórfidos, gabros, ofitas, dioritas, etc., en las chimeneas pérsicas que en las cantábricas, que presentan rocas de tipo ofítico más uniforme.

Pero las analogías que más nos interesan hacer resaltar son las de tipo tectónico y causal.

Considera Hirschi, y es un hecho que tanto Lotze como nosotros nos hemos esforzado en hacer notar para los diapiros cantábricos, que las causas de *localización* de las chimeneas en ambos casos son profundas y residen en los

rasgos tectónicos viejos que, o bien han creado bloques rígidos y alineaciones resistentes, renegantes con las superficiales, como en el caso del Golfo Pérsico, o, y además, han ordenado la paleogeografía post-herciniana, creando zonas de menor resistencia allí donde los espesores de la cobertura secundario-terciaria empiezan a decrecer rápidamente, como es el caso de nuestra zona cantábrica, en que ambas causas se suman.

Como nosotros lo hemos hecho, considera Hirschi que es factor fundamental el enorme espesor y, por consiguiente, el enorme peso de las formaciones que gravitan sobre las masas salinas que, en nuestro caso, estimamos es aún superior al del Golfo Pérsico. En cambio, son para Hirschi factores también fundamentales la potencia de la formación salina y el juego de las fuerzas tectónicas. De estas dos circunstancias, la primera no parece darse en las formaciones cantábricas, donde, como en general en el Norte de España, un espesor apreciado de 200 metros para las masas salinas originales parece muy optimista, ya que, en general, los observados en los afloramientos son mucho menores. No vamos a repetir las consideraciones hechas ya anteriormente, que pudieran explicar esta disminución aparente. El cálculo que hicimos de los volúmenes existentes en las chimeneas salinas cantábricas muestra, en forma al parecer irrefutable, que las masas salinas han tenido que ser muy potentes. Pero hay algo que no se explica en esta disconformidad palpable entre las masas que contienen los diapiros y los espesores máximos que muestran, sin excepción, los afloramientos normales, o que al menos parecen serlo. El caso de los diapiros del Golfo Pérsico se conformaría en este sentido más exactamente al teórico, deducido matemáticamente por Goguel y que explicaremos con cierto detalle más adelante.

Finalmente, pero no menos importante, está el papel desempeñado por el juego de las fuerzas tectónicas, que para Hirschi es fundamental, mientras que en el caso teórico de Goguel tienen un papel muy secundario, y en el nuestro poco señalado. Mientras que los diapiros pérsicos aparecen ligados a los anticlinales, y en muchos casos a los ejes y charnelas, en la zona cantábrica aparecen, en general, en fondos de sinclinal o en zonas tectónicamente anodinas, como hemos tratado de demostrar en nuestras descripciones y consideraciones.

No está de más insistir en la influencia que la tectónica profunda, o dicho de otro modo, la tectónica antigua, influye en la localización y orientación de los accidentes diapíricos de raíz muy profunda, como suelen serlo las chimeneas salinas.

Al reunir nuevos antecedentes he encontrado que varios autores han señalado con énfasis el hecho.

Voitesti (80) estudió con especial detalle sus regiones carpáticas nativas. Expresa los siguientes hechos:

En las zonas interiores de Cárpatos y Subcárpatos los macizos de sal aparecen de ordinario a lo largo de anticlinales-fallas, provocando el diapirismo de pliegues, magistralmente definido y descrito por Mrazec. Pero no es raro encontrarlos, además, en el fondo de un sinclinal, cuyo piso taladran, como en el típico caso del macizo de sal de Slánicul, en Prahova, que aparece justo en medio de una cubeta, alzando un gran «Klippe» eoceno. De la misma manera, el eje de la cubeta de Drajna aparece perforado por un macizo de sal (son, pues, casos idénticos al de varias de las chimeneas salinas cantábricas).

(80) J. P. Voitesti: «Quelques remarques sur l'age du sel des Regions Carpathiques». — Bull. de la Soc. Géol. de France, T. XIX. 1919.

La localización de los macizos parece ser independiente de la tectónica de las capas superficiales, porque si bien muchos se muestran de preferencia en los ejes de los anticlinales algunos quiebran su bóveda en cualquier punto, y otros, como acabamos de mencionar, rompen en sinclinales.

Esta independencia resalta aún más en los Subcárpatos meridionales, donde los pliegues miocenos son entrecortados por fracturas que los cruzan, y a lo largo de las cuales surgen macizos de sal (macizos de la línea Turburea-Sárari-Matisa). El enrevesado aspecto, como de mar gruesa, que presenta la tectónica subcarpática se debe, precisamente, a esta falta de conformidad entre la tectónica profunda, a la cual se ajustan los macizos de sal, y la superficial de las formaciones subcarpáticas.

Esta independencia se manifiesta también, a veces, en la zona del flysch marginal; por ejemplo, en las regiones de Taslaur-Sarat-Semes y Stanesti-Solontz, donde aparecen dos macizos de sal, con orientación al Este-Oeste, perpendicular a la Norte-Sur de los pliegues de la región.

Parece que, tanto en los Cárpatos como en la zona subcarpática, son solamente los macizos superficiales los que están orientados en la dirección de los últimos plegamientos. Precisamente serían los más antiguos, o sean los llegados cerca de la superficie, los que han podido ser orientados por ellos. Pero los que se encontraban a grandes profundidades y han surgido merced a las presiones de los últimos movimientos orogénicos, han seguido la dirección de antiguas fracturas sobre los que se encontraban ya orientados; y empujados hacia la superficie han trastornado por completo la tectónica de cobertura.

La causalidad en los casos considerados por Voitesti es distinta, puesto que supone un dominio de las fuerzas tangenciales, y el mecanismo es igualmente distinto, pero la influencia de la tectónica vieja o profunda es, no obstante, influyente en la misma manera que en los casos cantábricos o pérsicos.

VI

EL MECANISMO DIAPIRICO

Salvo aquellos casos extremos de pliegues perforantes de núcleo rígido, y excluido también el caso tan amplio y al mismo tiempo tan particular de las masas magmáticas, hemos podido ver, al estudiar las regiones diapíricas, que su mecanismo va ligado casi siempre a la existencia de las masas plásticas, y dentro de éstas a la de masas salíferas. La causa primordial de las tectónicas aberrantes es el papel particular desempeñado por los terrenos salíferos (Cizancourt, 35), debido a que en ellos se verifican más frecuentemente los despegues, que a la vez originan y facilitan la acumulación, en masas, del material contenido en los pisos plásticos.

Origen de los materiales salinos.

Los terrenos salíferos (Gignoux, 40) son debidos a la evaporación de aguas saturadas, y necesitan un clima seco y caliente en un país tendido, ya junto al mar (lagunas litorales), ya en el interior de vastas cuencas cerradas. Desde luego se entiende que el depósito salino es el conjunto de las sales y de las demás rocas de cosedimenta-

ción de facies lacustre, como son las arcillas, a menudo rojas o verdes, las areniscas o calizas dolomíticas (más o menos transformadas en carniolas), etc. El aspecto actual en superficie de estas formaciones salinas está muy deformado, como consecuencia de los fenómenos de disolución, que primero afectan a las sales y luego hacen desaparecer a los yesos. Fenómenos de precipitaciones y reacciones químicas, crean el conjunto de rocas de tipo especial que constituyen el «sombrero» o «cap rock».

Lotze (6) dedica una gran parte de su importante obra a estudiar el origen físico-químico y la distribución geológica y geográfica de este fenómeno, hasta agotar el tema.

Como consecuencia de este origen son las formaciones devonianas («old red»), permianas, triásicas (bunt y keuper), cretáceas (garumnense), eocenas (ypresiense), oligocenas y miocenas, citando las más señaladas, que suponen el tránsito de régimen marino al continental, con desecación de mares aislados del mar libre, las que suministran las sales que intervienen en los fenómenos diapíricos, o en la formación de los macizos de sal.

Lotze ha investigado, en un trabajo muy interesante (81), la repartición en el tiempo y en el espacio de las épocas de intensa deposición salina, buscando su relación con la historia tectónica del globo. Ha llegado a conclusiones muy interesantes, que aparecen esquematizadas en el cuadro de la figura 34, tomada de su obra «Salzabscheidung und Tektonik».

Una exposición gráfica de la abundancia de la sal en las diversas formaciones debería mostrar, según Lotze, y dentro de ciertos límites, el cambio de las condiciones de

(81) Franz Lotze: «Salzabscheidung und Salztekonik». — Festschrift zum Geburtstag von Hans Stille. Stuttgart, 1936.

su formación a lo largo de los tiempos. La figura 34 nos muestra que esto no ocurre sin cierta regularidad. La separación de la sal se intensifica en determinados tiempos, y en sus rasgos generales ocurre simultáneamente, incluso en regiones muy apartadas.

Ciertas alternancias entre las épocas de formación de sal y otros determinados y peculiares procesos de sedimentación, especialmente la formación de carbones (tiempos apropiados para la formación del carbón son inapropiados para la de la sal y viceversa), muestran que el transcurso de las curvas de la sal, y sus cambios, están condicionados, en primer lugar, por el clima, pero también los acontecimientos tectónicos desempeñan un papel decisivo.

Esto obedece, como mostró Stille (y seguimos citando siempre a Lotze), a la regla de la coetaneidad («gleichzeitigkeits Regel»), según la cual los acontecimientos orogénicos se completan en fases definidas, reconocibles en amplios ámbitos de la tierra, y que los epirogénicos se sujetan igualmente a una regla universal.

Comparando las curvas de la formación de sal con la de los acontecimientos orogénicos se aprecia claramente una concatenación. Los máximos de la curva de deposición salina coinciden con tiempos marcadamente epirogénicos regresivos, es decir, la formación de masas salinas se intensifica simultáneamente con e inmediatamente después de las grandes orogénesis («Gebirgsbildung», 82).

El fundamento de estas relaciones se deduce pronto.

(82) Recomendamos calibrar el significado exacto de esta terminología tectónica alemana en nuestra traducción «Vocabulario alemán de tectónica». Estudios Geológicos n.º 4, Inst. de Inv. Geológicas Lucas Mallada. Madrid, 1946.

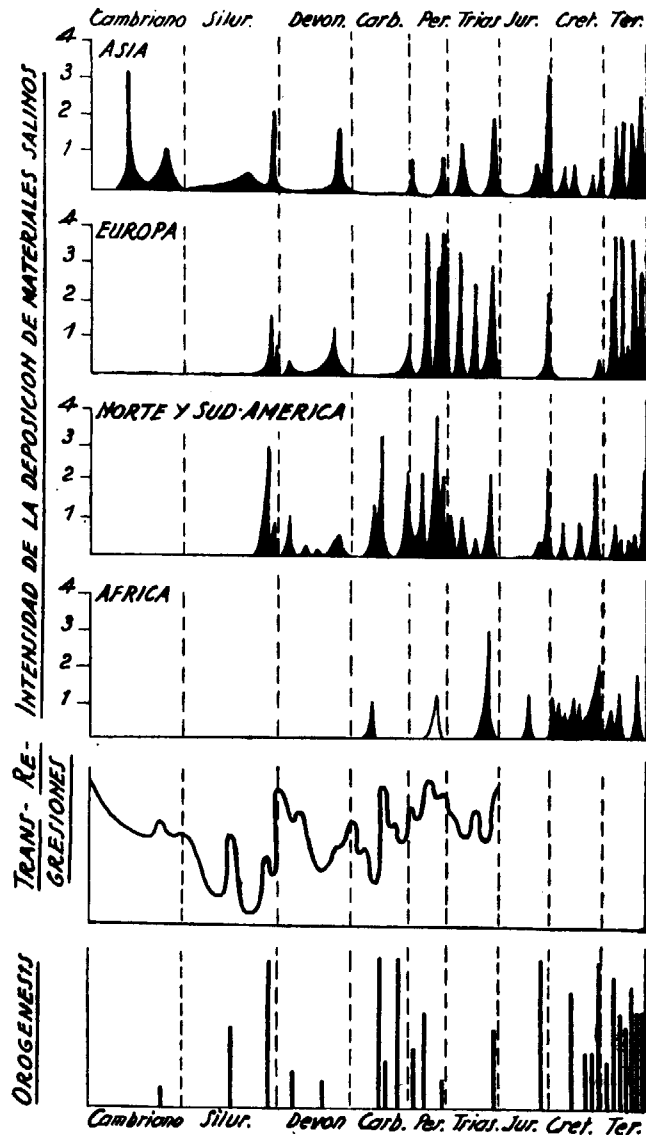


Fig. 34.—Intensidad de la deposición salina en relación con los tiempos geológicos. (Según Lotze.)

La intranquilidad de los tiempos sinorogénicos se presta a la constitución de cuencas parciales subdivididas, sin aportación acuífera, y al mismo tiempo la tendencia regresiva es apropiada para el aislamiento de zonas individuales del Pan-océano («Wetozean»), que es condición esencial para la precipitación de sales marinas. Además, la geocracia de los tiempos regresivos arrastra consigo, en oposición a las circunstancias de los tiempos talatocráticos, una aridez incrementada, puesto que disminuye la superficie líquida suministradora de humedad ambiente. Y al mismo tiempo, la agudización de los relieves en los tiempos orogénicos y post-orogénicos, precisamente en las zonas de orogénesis («Gebirgsbildung») ligadas a las márgenes continentales, es apropiada para la desecación de las zonas interiores de los continentes.

La explicación del incremento de la deposición de sales habría de enfocarse durante el primario en relación con la orogénesis varisca, durante el jurásico con la kimmérica y con las orogénesis alpinas en el terciario.

La fig. 35 representa la distribución europea de las facies salinas. Está tomada, como todas las consideraciones que preceden, de la obra citada de Lotze.

Sin embargo, no siempre se reconoce este origen a las sales. Así, por ejemplo, Voitesti (83) daba una explicación totalmente distinta, y sus argumentos, aunque desechados, merecen recordarse. La cantidad de ClNa almacenada en los enormes e innumerables macizos salinos actuales, en todo el mundo, es inmensa y no guarda proporción con la salinidad de los mares. Es decir, si se ha de explicar que

(83) J. P. Voitesti: «Sur l'origine du sel et les rapports tectoniques des massifs de sel avec les gisements de Pétrole en Roumanie».—C. R. S. et Bull. de la Soc. Géol. de France, IV Sér., T. XXI. 1921.

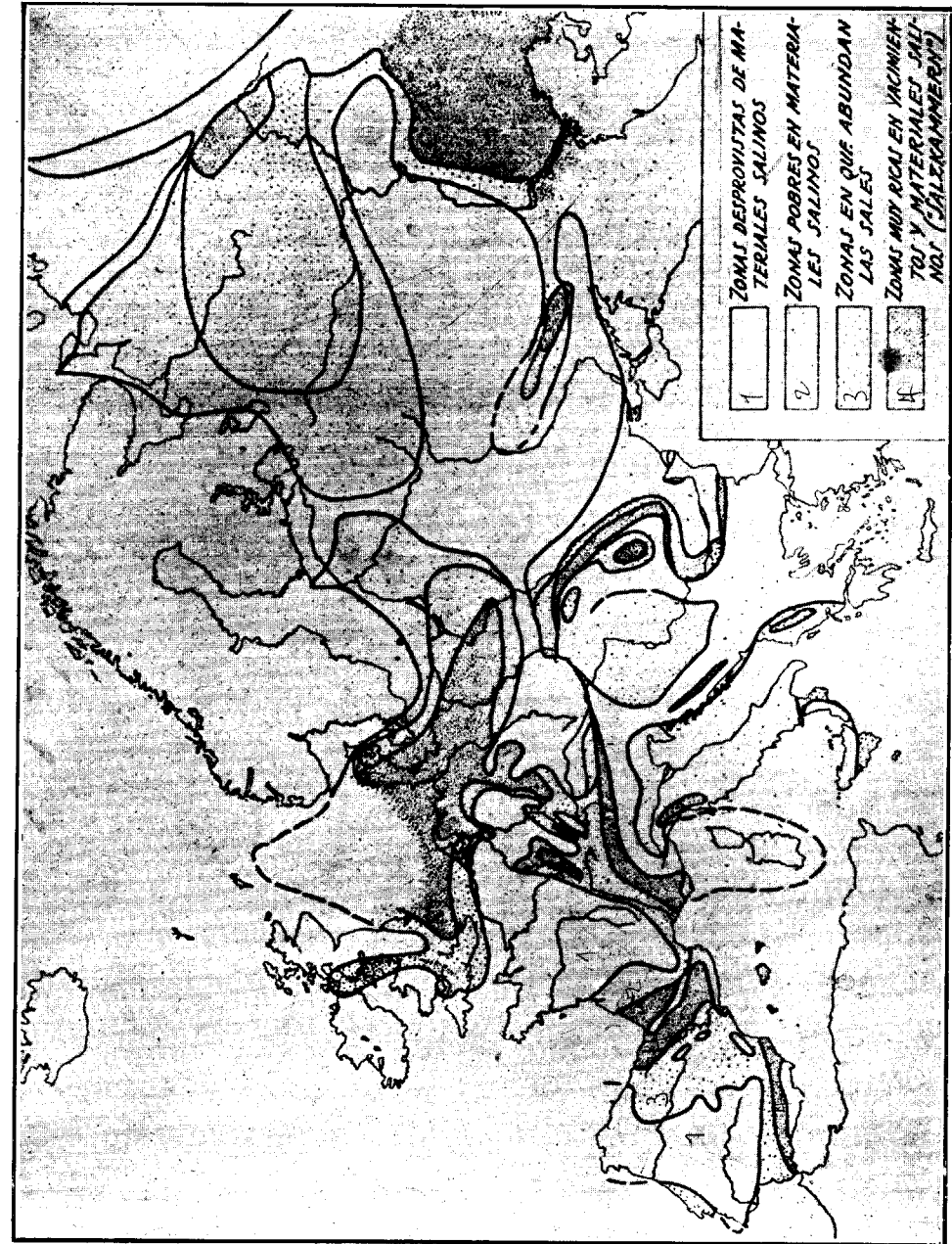
toda aquella masa ha sido sustraída por evaporación a la circulación superficial, hay que buscar, dada la débil cantidad de ClNa contenida en los mares actuales, una explicación, y ésta no puede ser la de que los mares antiguos mostrasen una concentración mayor, ya que según atestiguan las faunas marinas, y aplicando las leyes del actualismo biológico, mucho más rígidas que las del geológico, aquélla no pudo ser mucho mayor.

Desechado el origen «mediterráneo» de la sal, habría que remontarse a los tiempos de solidificación de la primitiva corteza terrestre, y explicar su origen por precipitación de los cloruros contenidos en una atmósfera de $700-800^\circ$, según indicó Douvillé (84). Según Voitesti, y como consecuencia, la posición actual de los macizos de sal es una posición tectónica, ya que todos ellos están desgajados de su raíz, y de ninguna manera estratigráfica y, por consiguiente, no sirve para fijar la edad de la sal de los macizos (85).

Es interesante hacer notar que, como todas las facies de origen climático, los complejos salíferos constituyen entidades bien definidas y homogéneas, de gran extensión geográfica; como consecuencia, los accidentes tectónicos salíferos son, con gran frecuencia, de carácter regional, y crean un estilo tectónico igualmente regional.

(84) H. Douvillé: «Les premières époques géologiques».—C. R. Ac. Sc. Paris, 1914.

(85) Parece ser que Voitesti rechazó más tarde su propia teoría en una comunicación a la Sociedad Geológica de Bulgaria, aceptando para la sal una edad cretácea o terciaria, según indica G. M. Lees en una discusión en la Sc. Geol. de Londres. Véase «Discusion on de Raaf» (39).



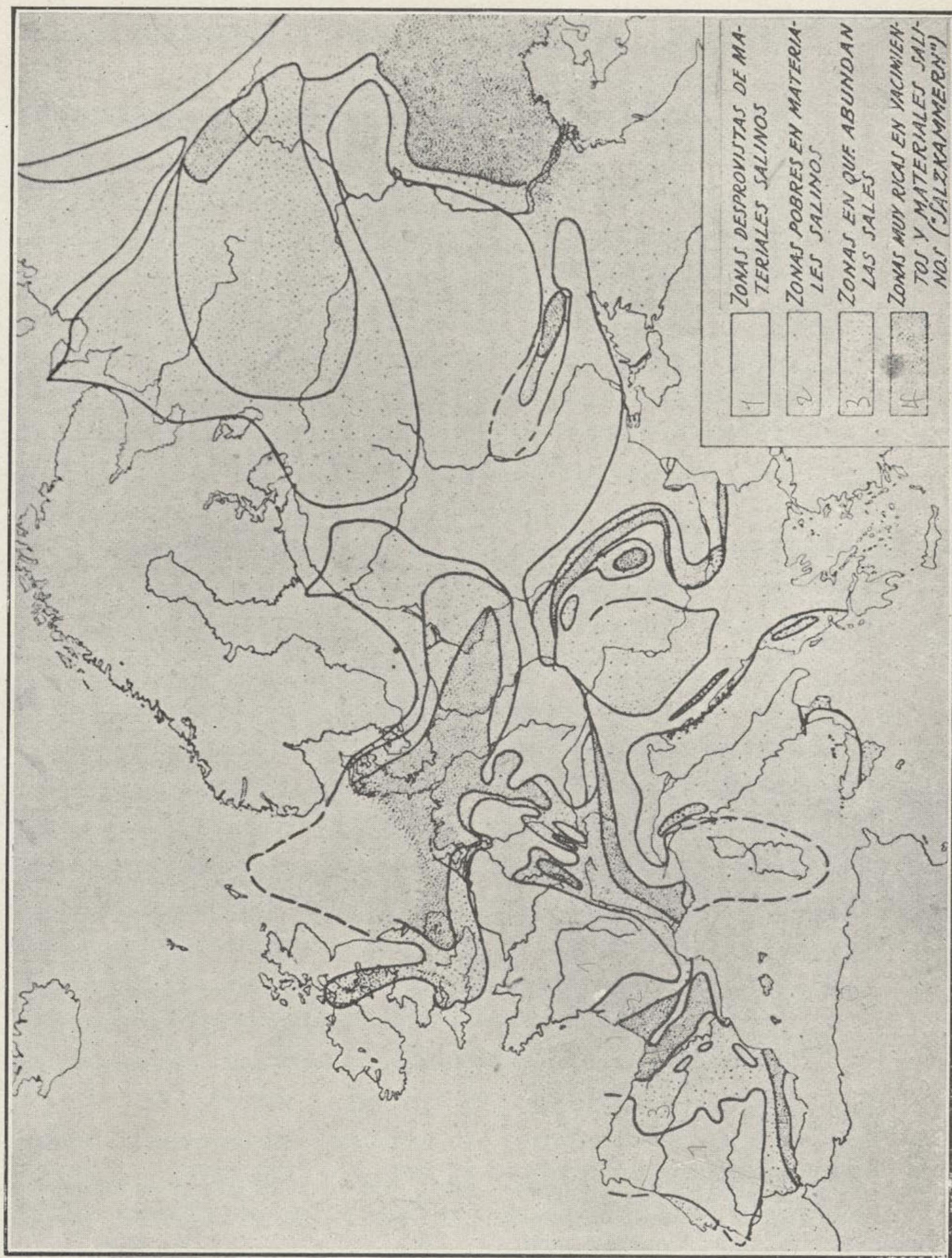


Fig. 35.

Caracteres de la sedimentación continental.

Dado el origen continental, en régimen de desecación de mares aislados del océano, conviene que nos ocupemos ahora de algunos caracteres de la sedimentación continental.

Por una errónea y exagerada interpretación del actualismo ha habido, durante mucho tiempo, una tendencia, que hoy día resulta casi inexplicable, pero que aun subsiste en algunos sectores, a menospreciar los espesores de las formaciones continentales.

En varias publicaciones he hecho notar que en España las series continentales presentan, con frecuencia, sorprendentes espesores, tan grandes, si no mayores, que las marinas. Tanto los espesores oligocenos de las depresiones terciarias, como los del wealdense-albense de las formaciones ibéricas y las cantábricas, han de medirse casi siempre por encima de los 1.000 metros, a veces incluso en las márgenes, y en los centros de las depresiones por varios miles de metros. El miedo a aceptar estos hechos, que chocaban contra ideas preconcebidas, ha llevado a los geólogos a rebajar las cifras, aplicando con frecuencia un divisor superior, a veces, a diez, y otras veces a suponer campos de fallas y repeticiones inexistentes, para no rebasar las cifras que consideraban prudentes.

Aunque nosotros llegamos a esta conclusión con completa independencia, hemos tenido la tranquilidad de ver este punto subrayado, por muy prestigiosos geólogos. Creo que Stille es uno de los que han hecho mucho hincapié en la cuestión de los espesores de las formaciones continentales, y lo hizo también Marín para las del oli-

goceno en la depresión del Ebro (86), así como Lotze, que estima el conjunto de sedimentos de la fosa cantábrica en más de 10.000 metros. Conforme se ha ido disponiendo de buena cartografía, y se han ido conociendo nuevas zonas del globo, se ha impuesto la idea, entre los geólogos, de que las formaciones continentales incluso suelen rebasar a las marinas en la potencia de la sedimentación. La razón, a mi juicio, es la siguiente: la facies continental de la sedimentación, cuando ésta se verifica en una zona de geosinclinal, es decir, de hundimiento proseguido secularmente, resulta, precisamente, de que la velocidad de erosión y sedimentación son más rápidas que la de hundimiento. Entonces, la superficie de sedimentación se mantiene por encima del nivel marino y la facies es continental. Si la cantidad de sedimentación para una misma velocidad de hundimiento geosinclinal es más reducida, los sedimentos no llegan a rebasar el nivel del mar, y las facies son marinas. Es evidente que en este caso los espesores sedimentarios son menores. Además, va esta conclusión implícita en uno de los corolarios enunciados por W. H. Bucher (87). Este geólogo hizo un notabilísimo intento de concretar en leyes los principios tectónicos universales, y expresó que los sedimentos continentales, tales como conglomerados, brechas y arcillas, que indican una erosión rápida de macizos rápidamente emergidos, están prácticamente limitados a depresiones geosinclinales.

Resumiendo en pocas palabras los razonamientos ante-

(86) A. Marin: «La depresión del Ebro. La tectónica y los yacimientos minerales». —Boletín del Instituto Geológico y Minero de España, tomo LVII. 1945.

(87) W. H. Bucher: «The deformation of the Earth Crust». —Princeton University Press. 1935.

riores diremos que, dada una determinada velocidad de hundimiento geosinclinal, las facies son marinas si la de sedimentación no la alcanza, y continentales si la supera, de lo que resulta que los espesores de éstas son, en este caso, mayores. El razonamiento no es aplicable más que para las áreas geosinclinales, que son las que originan espesores potentes de sedimentación.

Estos razonamientos interesan, no sólo porque las formaciones salíferas son continentales, sino también porque una condición básica de la formación de domos salinos es que la masa de sedimentos que gravita sobre la formación salina sea muy potente. Entre otros geólogos, Pruvost se ha ocupado con detención de este punto (88). Cita el caso de la cuenca de París durante el jurásico, y el de la cuenca hullera del Norte de Francia. Del primero dice que no entra ese ámbito en la definición de geosinclinal (89), por formar parte la cuenca de París, durante el jurásico, del dominio de las áreas continentales. La historia jurásica de esa región es netamente epirogénica, consistiendo en una serie de transgresiones y regresiones. No obstante, llegan a reunirse espesores de sedimentos jurásicos que llegan a un máximo de 1.205 metros, y aun es más interesante señalar que el aumento tiene lugar rápidamente, formándose un marcadísimo escalón vertical. La misma conclusión a que hemos llegado nosotros en la zona cantábrica española, aunque allí con espesores mucho mayores.

(88) P. Pruvost: «Sedimentation et Subsidence». —Livres jubilaire du Centenaire de la Société Géologique de France (1830-1930). Paris, 1930.

(89) Yo diría más bien en la definición restringida de geosinclinal. Se han dado muchas interpretaciones distintas a esta voz. Véase la obra de Bucher (87) para más detalles sobre este punto.

El parecido de estos fenómenos de hundimiento y sedimentación acompasada, con la disposición cantábrica, salvando la escala, resalta aun más cuando Pruvost expresa que los sondeos han demostrado que los depósitos del fondo son también de facies litoral, arcillosas-arenosas, con lignitos.

Su única diferencia entre la zona marginal y la del centro de la depresión reside únicamente en los espesores, pero no en las facies. Estas cuencas se han hundido a medida que los sedimentos se acumulaban.

La cuenca hullera del Norte de Francia presenta otra característica, que ofrece también nuestra depresión cantábrica, y es la existencia de varios tramos marinos (allí las calizas aptenses de facies urgoniana) que se intercalan en una potente serie lacustre (hullas parálicas) de más de 3.000 metros de espesor. Sin embargo, la facies demuestra que el fondo no ha descendido nunca más que muy escasamente bajo el nivel del mar.

Entre los fenómenos sedimentarios es muy importante hacer notar que la participación de las sales puras en los depósitos continentales es muy variable. Mientras que los depósitos oligocenos y permianos son característicos, por la precipitación de considerables espesores de sales prácticamente puras, con una correspondiente disminución en la proporción de las margas, los espesores salinos del keuper parecen ser mucho más reducidos. Sobre todo en España, el estudio de los afloramientos normales de keuper y, lo que es más interesante, de los cortados por sondeos a profundidades que exceden los límites del alcance de la disolución, no muestran nunca espesores apreciables de sal, salvo, claro es, en el caso de que se corten acumulaciones originadas por diapirismo. Este es, probablemente, el que concurre en los yacimientos salinos que explota, en

las cercanías de Torrelavega, la compañía de la «Sosa Solvay». El keuper consiste, sobre todo, en margas y yesos. Los manantiales salinos, tan abundantes en los afloramientos, denotan que las sales existen, y sus caudales, y la proporción de sales que llevan en disolución, que existen en cantidades grandes; pero parecerían estar diluidas en la masa sedimentaria.

Este hecho complica considerablemente la aplicación del mecanismo isostático para las cúpulas salinas cantábricas, ya que están constituidas, sobre todo, por margas y yesos de densidad muy superior a la del CINa, mientras que los domos americanos y alemanes están constituidos por CINa casi puro; la explicación isostática en este caso es inmediata. También resulta anormal y desproporcionada la participación de las ofitas en los afloramientos diapíricos. Casi todos ellos van acompañados de estas rocas, que suelen interpretarse como coladas volcánicas efusivas.

Pero lo cierto es que las series triásicas de afloramiento normal rara vez muestran estas coladas, lo que plantea otra difícil cuestión. Más adelante volveremos sobre estos puntos.

Funcionamiento tectónico.

En cuanto a la reacción tectónica especial de las masas de sal, ésta resulta de dos propiedades peculiares (90): es comparativamente ligera; es muy plástica. Esto, que es aplicable a la sal pura, lo sería en grado variable para las margas salíferas, según su mayor o menor contenido en

(90) Stoces and White: «Structural Geology».—Londres, 1935.

sal, sobre todo en lo que se refiere a la primera propiedad. Debido a estas propiedades básicas, la sal puede guardar su forma primaria, como estrato o cuerpo lenticular, sólo por corto tiempo y, únicamente, bajo condiciones excepcionales. Con carga incrementante se impone el reajuste de equilibrio. Debido a la diferencia de densidades, la sal, a menos que no sea retenida por una cubierta extremadamente rígida, se acumula en una masa y tiende a emigrar lentamente hacia la superficie. Pero con estos razonamientos estamos empezando a entrar en la cuestión del mecanismo isostático.

Ya hemos hecho notar antes (91), y por su parte el lector lo habrá observado en muchos otros apartados, que los geólogos, en general, han aceptado que las propiedades plásticas y de ligereza de los materiales salinos pueden ser aprovechadas, tanto por mecanismo de presión isostática como de presiones tangenciales. El ejercicio de estas últimas es evidéntísimo e indiscutido para el caso de los pliegues diapíros. Pero en el de las chimeneas salinas aun conservan muchos sus posiciones extremas, levemente moderadas o atenuadas en el caso de los isóstatas por la admisión de un cebado que puede atribuirse a *ligeras* presiones tangenciales (92); en el caso de los dinamistas, aceptando la ayuda de la isostasia en los tiempos orogénicos, o para ligar, durante los tiempos anorogénicos los efectos de las presiones tangenciales, puestas en juego por las orogénesis.

No obstante, parece fuera de duda que aun en el tipo

(91) «Los estilos diapíricos. Otros casos típicos de funcionamiento isostático».

(92) En los casos de extrema irreductibilidad, generalmente en trabajos ya algo antiguos, el cebado se atribuye a irregularidades en los espesores de las capas salinas, debidas a causas sedimentarias.

de las chimeneas salinas hay casos de mecanismo isostático prácticamente puro, y otros en que las presiones tangenciales han colaborado activa y eficazmente ayudando a la isostasia y, en algunos, incluso, puede decirse que ayudadas por la isostasia.

Como exponente moderno del mecanismo isostático tenemos a Goguel (93), un ilustre geólogo francés (94).

Uno de los definidores, y el más fiel mantenedor de la idea tangencial, es Stille, cuya presentación no es necesaria a los geólogos españoles, por la atención constante que ha prestado a los problemas geológicos de nuestra patria.

Expondremos con alguna extensión estas tesis extremas, que corroboraremos con opiniones de otros geólogos, exponiendo además las de algunos que mantienen posturas intermedias, si bien a lo largo de este trabajo se han expuesto ya muchas.

La experimentación y la matemática son las dos poderosas palancas, por medio de las cuales hombres de ciencia observadores han edificado el brillantísimo edificio de la física moderna. Los geólogos han tratado, desde antiguo, usar esos mismos instrumentos para contribuir a la resolución de los difíciles problemas planteados. Pero

(93) J. Goguel: «Introduction a l'Etude Mécanique des Déformations de l'Ecorce Terrestre».—Memoires de la Soc. Géologique de France. 1943.

(94) Sv. Arrhenius y R. Lachmann, resumieron con las siguientes palabras el mecanismo isostático al idearlo en 1912: «Como causa esencial en la formación de las chimeneas salinas, hemos reconocido la fuerza ascensional de la sal, como una resultante de la gravitación terráquea que ataca a las masas salinas en su centro de gravedad y las mueve con fuerza vertical, con relación a las masas pétreas más pesadas que la rodean. Tenemos, en pequeño, una manifestación de la isostasia en la corteza terrestre».

mientras que a las cumbres de las ciencias físicas se llega por una serie de diminutos escalones, que los investigadores han ido subiendo pacientemente, el ya ingente montón de hechos acumulados no logra poner al geólogo al alcance de los enormes peldaños de la escala de su ciencia. Basada la ciencia geológica en la observación, constantemente se enriquecen sus archivos con nuevos hechos geológicos. Estos se reducen a sistemas, se elaboran y se clasifican estadísticamente, tratando de arrancar de ellos los secretos del mecanismo de nuestro globo. Los resultados son ciertamente desesperantes. Mucho se avanza, mucho se establece, pero las hipótesis quedan siempre como meras hipótesis, teorías, eternas teorías contradictorias, que no acaban de concretar en doctrinas indiscutibles. Y los nuevos hechos, muchas veces, lejos de aclarar las cuestiones, las complican. Se oponen a las teorías viejas, y éstas han de ser de nuevo revisadas, rehechas, y muchas veces desechadas. En este constante tejer y destejer del tejido geológico, de tan intrincado dibujo, ciertamente superan los geólogos a la paciente y fiel Penélope. Enamorados de su ciencia, redoblan sus esfuerzos, y han de superar, en un prodigioso esfuerzo de síntesis, las poderosísimas barreras que plantean tan diversos como variados obstáculos.

Por ahora, ni la experimentación ni la matemática han respondido a las ilusiones que en ellas se cifraron. Son tantas las variables que pone en juego la naturaleza, que el matemático nunca puede agrupar suficiente número de ecuaciones para hacerles frente.

El tiempo, la esfinge impasible, opone su impenetrable velo de millones de repliegues a todo esfuerzo que los ojos de la imaginación tratan de hacer para enfocar sus imágenes al infinito. Fracasado el actualismo como teoría

absoluta, carecemos de punto de apoyo para nuestra cámara, y las imágenes son confusas y borrosas.

Por lo que se refiere a la experimentación, la falta de proporcionalidad, la ridícula relación de dimensiones entre las medidas humanas y las telúricas, reduce, prácticamente anula, el valor de las conclusiones.

La matemática resulta estática, incoherente, fragmentaria, para abarcar y representar el lento, imperturbable, permanente y eterno movimiento de la dinámica terrestre. En cierto modo es como si se quisieran adivinar las incidencias todas de un movido partido de pelota, a partir de las rígidas instantáneas de media docena de jugadas (95).

En los últimos tiempos se han hecho notabilísimos esfuerzos para dotar a la Geología de una base matemática que sirva de punto de partida para elaborar los hechos de manera más eficaz que por su mera clasificación estadística. Y Goguel es uno de los geólogos que han desbrozado el camino, tratando de dar una expresión mecánico-matemática a muchos de los elementos de la deformación de la corteza terrestre.

Expondré, comentándolos, los razonamientos y conclusiones de Goguel, aplicados al mecanismo de las cúpulas salinas.

Mecanismo isostático.

Expone Goguel que si en una serie de estratos horizontales hay capas ligeras bajo otras más pesadas el equilibrio es inestable. Por poco que la horizontalidad de las capas

(95) Excluimos de estas consideraciones a la Geofísica. Esta se mueve en terreno más firme, porque trata de determinadas propiedades mecánicas de los terrenos en reposo, y la explicación de las

sea alterada en un punto, la irregularidad tenderá a aumentar si la rigidez de las rocas no basta a impedir este movimiento. Debido a que las diferencias entre las densidades medias de las rocas son pequeñas, dislocaciones atribuibles a este mecanismo no se conocen más que en un solo caso, aquél en que la capa profunda está formada de sal, a la vez ligera (densidad 2,1) y muy plástica. La sal tiende a elevarse formando domos, con frecuencia casi circulares, que perforan las capas más altas. El trabajo está suministrado por la fuerza de la gravedad.

Por consideraciones meramente matemáticas establece Goguel que cuando la superficie del suelo se encuentra en condiciones que la mantienen horizontal, por ejemplo una sedimentación rápida, ésta borra la desnivelación que en aquélla produce el alzamiento del domo, y entonces puede continuar el proceso de crecimiento de la cúpula salina. De no ocurrir así, la altura ganada por la masa sedimentaria que gravita sobre la cúpula de sal, sobre la que pesa sobre las capas salinas que la suministran, es rápidamente suficiente para establecer el equilibrio isostático, y el crecimiento se detiene.

Si el domo salino llega a alcanzar la vecindad de la superficie está frecuentemente sometido a una disolución intensa, y ésta favorece la ascensión por rotura del equilibrio isostático, compensando sus efectos sin tener que vencer más resistencia que los rozamientos internos de la sal.

Lo mismo ocurrirá en el caso de que aflore la sal, sobre todo si la disolución determina una depresión.

normas matemáticas están menos sujetas a las limitaciones mencionadas. Todos sabemos a qué grado de perfección se puede llegar en su aplicación.

Como consecuencia de las ecuaciones que establece Goguel, llega a la conclusión de que los factores que favorecen la penetración de la sal son los valores altos del diámetro de la chimenea salina, y de la profundidad a que se encuentra la capa. A mayor diámetro, y mayor profundidad de la roca salina madre, tanto más fácil le es a la

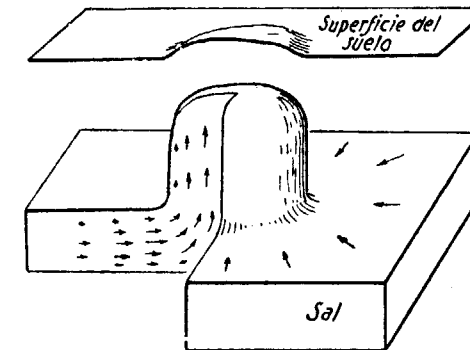


Fig. 36.—Esquema de un domo de sal. (Según Goguel, 1943.)

cúpula salina abrirse camino. La deficiencia de una de estas dimensiones ha de ser compensada, dentro de ciertos límites, por el correspondiente aumento de la otra.

Al cabo de tiempo suficiente la capa inicial de sal se puede agotar completamente. Toda su materia habrá pasado: primero, a los domos, que se elevan de ella como otras tantas columnas; después, por disolución, a las aguas superficiales. Entonces se habrá alcanzado el estado de equilibrio más estable.

Si el clima es desértico la sal alcanzará la superficie, y llega a formar verdaderas montañas, como las que se conocen en Argelia y en la costa oriental del Golfo Pérsico. En esta última, y según hemos descrito antes, existen verdaderos «glaciares» de sal, formados por la fluencia de

domos salinos de grandes dimensiones. A medida que esta fluencia va rebajando el vértice, puede proseguirse la ascensión de la sal.

Hasta ahora el mecanismo aplicado por Goguel, que lo deduce por razones puramente matemáticas, está de acuerdo con los hechos y explicaciones expuestas, tanto por Lotze como por nosotros, y deducidos puramente de la observación. Pero cuando Goguel pasa al estudio matemático del mecanismo interior del diapiro, llega a conclusiones que chocan con los resultados de la observación, al menos en algunos de los casos expuestos anteriormente.

Según Goguel el fenómeno de los domos salinos no puede producirse siempre más que a partir de una capa muy potente. El movimiento de la sal se produce en tres etapas: migración de la capa hacia la base del domo. En la base del movimiento cambia de dirección, y la sal empieza a ascender. Finalmente tiene lugar el ascenso, que debido al frotamiento no se verifica en bloque, sino en capas concéntricas. Pero establece unos cálculos que demuestran que cuando una cantidad apreciable de sal haya pasado de la capa al domo, las partes de la capa estirada en la vecindad de éste impide el acceso de la sal desde regiones más alejadas. Así pues, el domo, según los cálculos de Goguel, no se alimenta más que de las partes de la capa situadas en su vecindad inmediata, ya que su estrechamiento acaba por cortar toda comunicación entre el domo y las partes más alejadas. Como el crecimiento de un domo ya iniciado merced a ondulaciones preexistentes no puede continuarse más que si tiene varios kilómetros de diámetro, lo que supone un enorme volumen de sal, todo este conjunto de conclusiones arrastra la consecuencia de que sólo puede producirse a partir de una potente capa de sal, advirtiendo que Goguel considera suficiente-

mente potentes sólo las que exceden de más de 1.000 metros de espesor. Si se tiene en cuenta que en los domos cantábricos la marga interviene en gran proporción con la sal, lo que hace las condiciones del mecanismo isostático mucho más exigentes, llegamos a una contradicción fundamental entre los hechos deducidos del cálculo y los observados.

Al keuper, en la región pirenaica, se le atribuye un máximo (muy elevado) de 200 metros de espesor, en que predominan las margas. El volumen de los domos salinos cantábricos requeriría para llenarlos, no la zona inmediatamente periférica, sino el avenamiento total de toda la depresión cantábrica.

Según los cálculos de Goguel se puede admitir que un domo no puede aceptar más que la materia procedente de una parte de la capa, cuyo radio es, como máximo, el doble del espesor, o sea un volumen doble del cubo del espesor, y que los domos, separados a una distancia de cuatro veces el espesor de la capa, pueden coexistir sin interferirse, es decir, sin afectar al macizo alimentador del otro. En cambio, en la zona cantábrica, y para un espesor de keuper de 200 metros, han de recibir el material de una zona mucho más alejada que los domos más próximos.

Calcula Goguel la velocidad de ascensión de la sal, y establece que para un domo de 1.500 metros de diámetro y una altura de 1.000 metros, alimentado por una capa cuyo espesor original se ha reducido a 1.000 metros, la velocidad de ascensión es de 0,6 centímetros al año.

Son necesarios 100.000 años para que se eleve a 600 metros, o sea un movimiento relativamente rápido para la escala de las edades geológicas. En los domos de dimensiones mayores el movimiento será más rápido. Ahora bien, si el domo aflora, es decir, si la sal se disuelve en su

vértice, el movimiento de la sal, que no tiene que deformar los terrenos encajantes para compensar las pérdidas, será posible a partir de una capa adelgazada y sensiblemente más rápido.

La formación de los domos de sal no es posible según las fórmulas de Goguel, más que a partir de un módulo de plasticidad tan débil que pueda considerarse como inapreciable. Si consideramos que en los domos cantábricos la marga entra en proporción muy importante, el resultado de los cálculos es de nuevo desconcertante. Por otra parte, dice Goguel que incluso la sal no alcanza posiblemente valor tan bajo más que a partir de una cierta, y muy considerable, presión isostática, es decir, que de nuevo llegamos a la condición de que la capa de sal ha de estar situada a una profundidad muy considerable.

El «cebado» del movimiento ha de hacerse, como ya se ha señalado, a favor de desniveles preexistentes, y éstos presentan, según Goguel, carácter lineal, ya se trate de un pliegue o de una falla.

De la comparación de los resultados matemáticos de Goguel con los obtenidos independientemente por Lotze y por nosotros, resulta un gran número de coincidencias en las condiciones, como son gran espesor sedimentario, gran diámetro, preexistencia en profundidad de pliegues o fallas y una serie de discrepancias importantes, sobre todo en lo que se refiere al área drenada.

La aplicación del caso de Goguel (sal pura) a los diapiros cantábricos (margas salíferas), complicaría aun más la equivalencia.

Admirando los trabajos de Goguel, son sus resultados, en el capítulo en que estudia el mecanismo diapírico, a nuestro modesto entender, fragmentarios. No son suficientes por sí solos para explicar todos los hechos obser-

vados, y no bastan para establecer un cuadro continuo del mecanismo. Aplicando su método al caso de los diapiros cantábricos, no podríamos establecer cuándo empezó el movimiento de acumulación de la sal en la capa. Tampoco si se vió favorecido por empujes tangenciales. Ignoraríamos, igualmente, la época de formación de la cúpula salina, y si su ascensión fué continua o discontinua. Por consideraciones meramente geológicas tenemos, al menos, dónde apoyarnos para razonar, acertada o equivocadamente; con los razonamientos matemáticos, nos movemos, a lo largo del tiempo, en un vacío, que alcanza desde el triásico hasta el cuaternario.

Pero posiblemente se llegará algún día a rellenar los huecos que dejan entre sí las ecuaciones planteadas por Goguel.

No obstante, es de un gran valor el hecho de que una serie de hechos fundamentales, establecidos por puros razonamientos matemáticos, coincidan con la interpretación deducida exclusivamente de la observación geológica. Es en la concatenación de estos hechos para explicar la continuidad del mecanismo donde, a nuestro modesto entender, falla por ahora la interpretación matemática, y a donde puede sin embargo, quizás atrevidamente, llegar el geólogo, menos sujeto a las rígidas normas y más libre en la interpretación por la misma naturaleza y herramientas de su ciencia. No ignoramos que Goguel es además un ilustre geólogo, pero en la obra que estamos comentando procura situarse en el campo matemático ajustándose a sus exigencias.

Es interesante destacar aún, por su relación con el problema de las ofitas, que Goguel establece que el calor desarrollado por el funcionamiento mecánico del diapiro es muy pequeño y no supondría más que una elevación de

temperatura de $0^{\circ},3$, lo que no puede modificar más que de una manera imperceptible el grado geotérmico (96).

Tal como es expuesta por Goguel, la teoría de las chimeneas salinas es puramente isostática, pero en el caso de regiones sometidas a presiones orogénicas, la diferencia de densidad entre la sal y los terrenos encajantes puede contribuir a acrecentar las presiones y la sal pasará a las partes altas de los anticlinales, lo que da lugar a la formación de pliegues diapíricos de formas muy particulares; pero este fenómeno no debe ser confundido con el de las cúpulas de sal, que dice Goguel se forman espontáneamente, sin ninguna presión de origen exterior.

Muchísimos geólogos de todas épocas han sostenido la teoría extrema de la isostasia como agente fundamental de la ascensión salina, desde que Arrhenius y Lachmann la propusieron, su primera vez en 1912 (94), hasta la modernísima exposición matemática de Goguel. Vamos a ofrecer algunos otros ejemplos.

G. M. Lees (97), por análisis de las circunstancias de las chimeneas salinas del Golfo Pérsico, afirma que es la gravitación de los sedimentos de cobertura la única y exclusiva causa de la fuerza ascensional de la sal. La presión tangencial es, en algunos casos, sólo un factor indirecto al producir anticlinales, es decir, desnivelaciones, o sea presiones isostáticas diferenciales. En algunos casos, la

(96) El importantísimo problema de las ofitas, tan complicado y discutido, tiene una gran relación con el del diapirismo, pero por su complejidad no cabe en el marco de este trabajo. Requeriría, por lo menos, tanto espacio como este para ser analizado con algún provecho y, en todo caso, puede ser mejor tratado por los petrógrafos.

(97) G. M. Lees: Discusión en la Geol. Soc. of London del trabajo de J. V. Harrison (66) sobre las chimeneas salinas del Laristán.—The Quart. Journ. of the Geol. Soc. Vol. 36. 1930.

sal ha surgido mucho antes de comenzar el plegamiento. Además, el hecho de que las masas salinas muchas veces huyan de los anticlinales, y se alojen en dispositivos tabulares o sinclinales, no adopten disposiciones alineadas ni estén ligadas por fracturas, o se coloquen cruzadas con respecto a las directrices tectónicas, sean a menudo la sección circular, etc., indica que la sal es capaz de romper a través de una cobertura de varios miles de metros sin ayuda de dislocaciones o fuerzas de tensión o compresión.

Friedel (68) es igualmente partidario del mecanismo isostático, presentando ya la idea de Goguel expresada en la figura 31, admitiendo, sin embargo, que la plasticidad desempeña un papel importante junto a la ligereza. Si por una razón cualquiera la superficie de la sal se encuentra en una zona más alta que la de la que la rodea, actúa la presión ejercida por la cobertura a su alrededor. Si la presión excede a aquella a la cual la sal se comporta como materia lentamente deformable, aquella va pasando de la zona periférica deprimida a la elevada, y tiende a ascender hasta la superficie levantando o perforando los terrenos superpuestos.

Woldstedt (98) rechaza igualmente el argumento de las presiones tangenciales, por oponerse al examen detallado de las circunstancias geológicas en el caso de las masas salinas del permiano alemán. El plegamiento y ascensión de las sales no tienen nada que ver con presiones tangenciales, ya que son más acentuados donde éstas faltan, según lo muestra la disposición de las capas. Sólo se puede atribuir a las propiedades de ligereza y plasticidad de la sal.

(98) P. Woldstedt: «Salztektonik».—Zeits. der Deut. Geol. Ges. Tomo 78. 1926.

Esta idea de la acumulación en masa, del drenado de las capas y su desplazamiento a zonas de mínimas presiones, ha surgido ya muchas veces a lo largo de este trabajo, y es que es una idea fundamental para el mecanismo diapírico, sobre todo en el caso de las chimeneas salinas, y cualquiera que sea el tipo de explicación (isostasia o empuje lateral).

Presiones tangenciales.

En el caso de los empujes se atribuye la formación de cúpulas salinas a la selección diferencial que ejercen aquéllas sobre los materiales plásticos. Haarmann (99) ve en ello, y lo denomina «Preparación por presión». Cuando un complejo rocoso que se compone de materiales heteroplásticos se encuentra sometido a presión, aquella roca que tiene la menor presión de fluencia es la que empieza antes a desplazarse. Es la primera capaz de sustraerse a la presión y moverse a las zonas de sombra («Druckschatten»). Puede incluso llegar a desaparecer del todo, estrujada de su yacimiento primario, acumulándose en masas en otros lados.

Por medios experimentales llega Lohest (100) a una conclusión análoga, que expresó diciendo que el estilo, más o menos complicado, de los pliegues depende en parte de la *plasticidad diferencial* de las diferentes capas sometidas

(99) E. Haarmann: «Bemerkung über Druckaufbereitung».—Zeits. der Deut. Geol. Ges. Tomo 79. 1927.

(100) M. Lohest: «A propos des plis diapirs. Rappel de quelques principes de tectonique».—Annales de la Soc. Géol. de Belgique. Tomo 44. 1920-21.

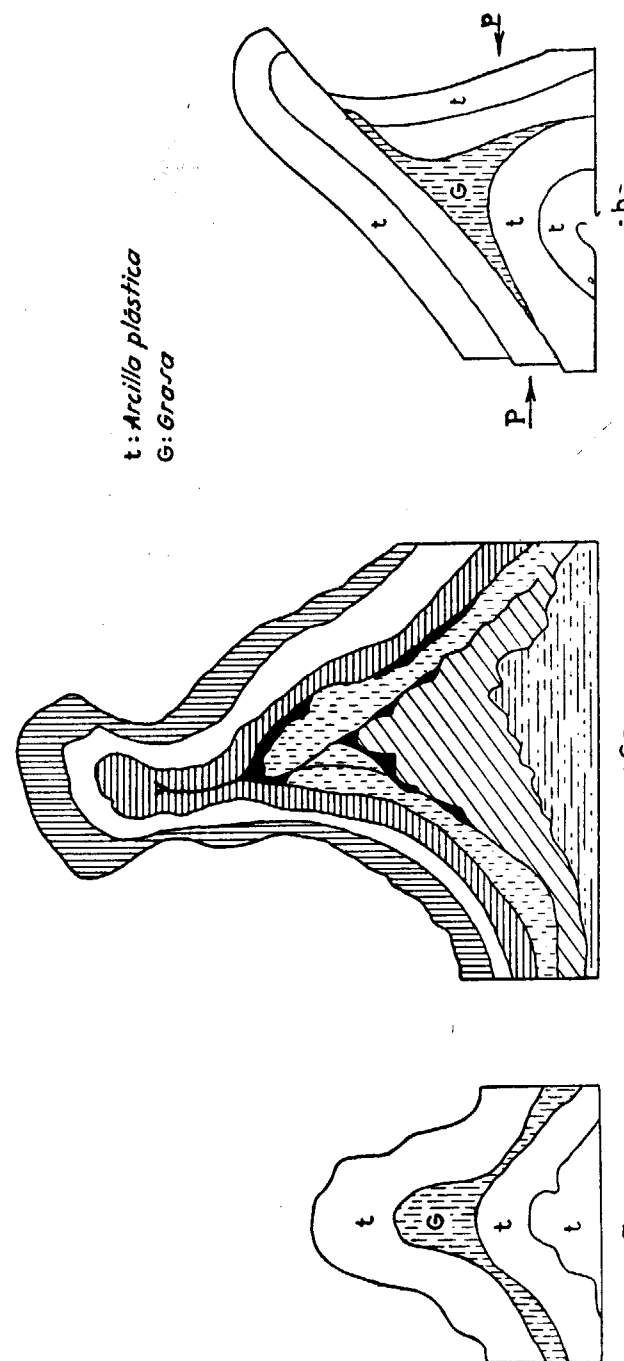


Fig. 37. (Según Lohest, 1921.)

a los esfuerzos de compresión. Demostró experimentalmente (fig. 37, *a* y *b*) que si se intercala una capa muy blanda entre dos más duras (*G*, grasa; *t*, arcilla plástica), la grasa se concentra en el vértice del anticlinal.

Comprimiendo de manera que se produzca un empuje más enérgico en un sentido determinado, se obtiene un pliegue-falla oblicuo.

Experimentó también con dos capas blandas (101) (figura 37 *c*) y obtuvo siempre concentraciones de la materia en la charnela del anticlinal y su eliminación de su sitio natural entre las capas circundantes.

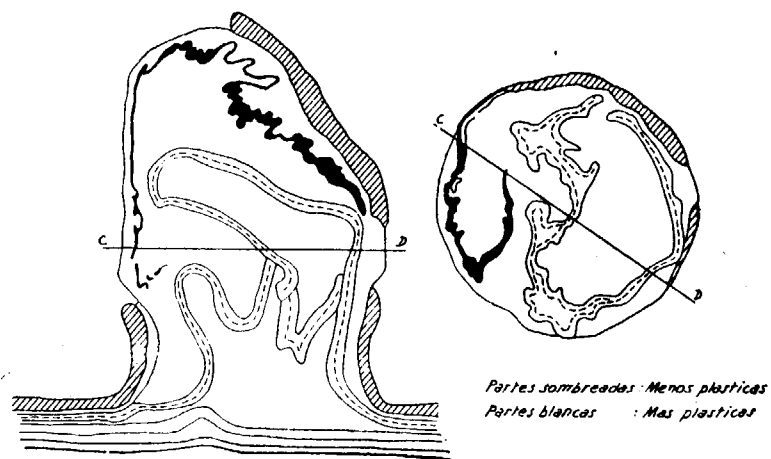


Fig. 38.—Diapiro experimental. (Según Escher y Kuenen, 1929.)

El mismo resultado expresó el bonito experimento de Escher y Kuenen (fig. 38).

Vamos a pasar ahora a la exposición de las opiniones de algunos tangencialistas. Stille ha defendido la idea del origen de las chimeneas salinas como consecuencia de las

(101) M. Lohest: «Experiences de Tectonique». — Annales de la Soc. Géol. de Belgique. Tomo 39. 1911-12.

presiones tangenciales, si bien, como veremos más adelante, atenuó posteriormente su posición extrema. Expondremos directamente sus opiniones y, por consiguiente, los párrafos que a continuación vienen son extractos de las publicaciones en que se refiere a estos temas.

La primera exposición que hizo de sus ideas adolece del inconveniente de referirse a un caso particular, el de las zonas de plegamiento sajónico de la Baja Alemania. Pero se admitió siempre que extendía la idea a la génesis de las chimeneas salinas en general. No obstante, nosotros vamos a exponer su teoría, aplicada, como él lo hizo, al caso de la Baja Alemania, aprovechando así la oportunidad de ofrecer en castellano su tesis de los plegamientos inyectivos.

Es una teoría ya antigua (102), pero no creemos que haya sido presentada nunca en nuestro idioma. Como por otra parte él y sus discípulos han seguido usando este concepto, y lo han aplicado en sus numerosos trabajos de geología sobre temas españoles, creemos de doble interés exponerlo aquí. Preferimos alargar un poco el trabajo, saciándonos un poco de su objetivo, que mutilar la exposición de Stille, la cual constituye un conjunto armónico y sistemático de inmediata relación con el tema diapírico.

Los conceptos de «plegamiento inyectivo» e «inyección de plegamiento».

Plegamiento inyectivo es aquel que tiene lugar con avance acentuado de algunos de sus elementos con relación a los demás, pudiendo este avance estar dirigido al

(102) Hans Stille: «Injektivfaltung und damit Zusammenhängende Erscheinungen». — Geologische Rundschau. Tomo VIII. Leipzig. 1917.

muro, al techo o hacia las zonas contiguas. En el primer caso tenemos el tipo deyectivo, en el segundo el inyectivo (fig. 39).

Una inyección por plegamiento es una intrusión de material pétreo originada por las presiones orogénicas episódicas.

Así pues, el plegamiento inyectivo es el cuadro completo de un plegamiento que se comporta inyectivamente con respecto a algunos de sus elementos, y la inyección de plegamiento la consideración del avance diferencial de estos elementos.

En determinadas condiciones también los magmas pueden intruir bajo presiones tectónicas. Hay casos extremos en que los cuerpos inyectivos presentan, por su conformación y disposición en relación con los terrenos encajantes, muchas analogías con las masas volcánicas intrusivas, como ocurre con los conjuntos muy móviles de arcillas o de materiales salinos, y las chimeneas salinas recuerdan en muchos casos las eruptivas de pequeñas dimensiones. Pero también, por su mecanismo y el conjunto todo del proceso inyectivo, parece que hay posibilidad de establecer puntos de contacto entre determinados tipos de inyecciones volcánicas y los avances tectónicos de algunos materiales especialmente móviles de índole no volcánica. Recordemos el caso del röt eruptivo de las zonas de Stadtilm y Plaue, descrito por Zimmermann (103), y las ascensiones de masas salinas a lo largo de grietas, descritas por Harbort (104), que por su tipo recuerdan los magmas.

(103) E. Zimmermann: «Wissensch. Bericht über Aufnahmen auf den Blättern Stadtilm und Plaue».—Jahrb. Preus. Geol. Landesanst. Año 1889.

(104) E. Harbort: «Zur Geologie der Nordhannoverschen Salzhorsste».—Zeitsch der Deut. Geol. Ges. 1910.

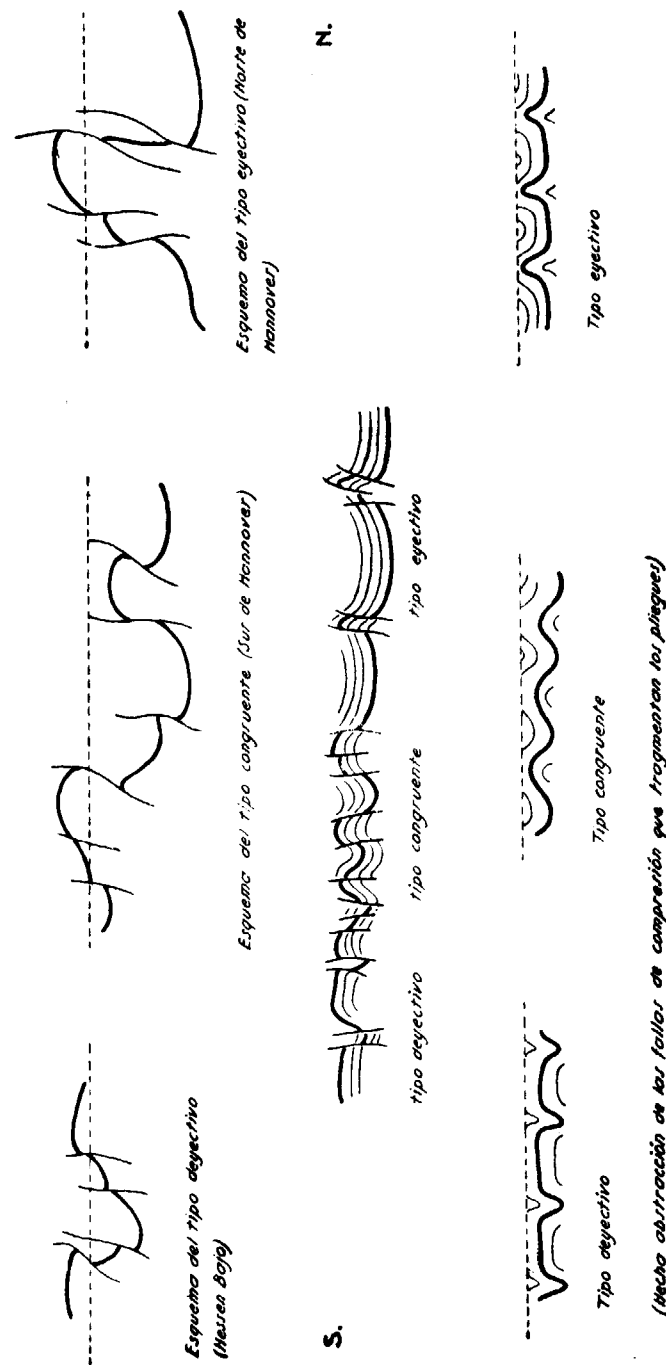


Fig. 39.—Plegamientos inyectivos del tipo sajónico. (Según Stille.)

Los tres tipos de plegamientos sajónicos.

El plegamiento sajónico es congruente cuando los anticlinales y sinclinales (rasgados por fallas), se han desarrollado de una manera relativamente equilibrada, e incongruente cuando los anticlinales se han desarrollado más acentuadamente que los sinclinales, o viceversa. En el primer caso tenemos el tipo eyectivo, en el segundo el inyectivo.

Suess estableció la idea de que tanto las fosas del país de Hesse como los horsts del Norte de Hannover eran producidos por hundimientos, como consecuencia de un «aflojamiento» o distensión de la corteza. Pero Stille, por el contrario, mantiene que tanto un tipo como otro son debidos a las presiones laterales y constituyen formas extremas de plegamiento, cuyo tipo peculiar se debe a las circunstancias locales, como expondremos, siempre extrayendo a Stille, más adelante. El estudio detallado de las circunstancias petrográficas, morfológicas y tectónicas, así lo indica. Las fallas que rompen estos anticlinales y sinclinales son también resultado de presiones tangenciales y no de descompresiones.

Influencia del factor «posición» (accesibilidad a la presión orogénica).

Un factor muy importante en la determinación del tipo es el de la posición de las formaciones con relación a los yacientes y macizos enmarcantes que condicionan la mayor o menor accesibilidad, a aquéllas, de las presiones orogénicas.

El yacente rígido actúa como una protección a la cobertura, pero sólo hasta una determinada altura, de modo que su grado de protección disminuye al alejarnos de aquél. Dentro de esa zona de protección la accesibilidad de las presiones disminuye en dirección hacia abajo. Actúa, pues, en sentido opuesto a la mayor facilidad al plegamiento que da la profundidad, ya que con ella aumenta la movilidad de los materiales plásticos.

Ahora bien, la defensa basal es tanto más intensa cuanto más rígida la base, y la rigidez de ésta disminuye con la profundidad. Así pues, la profundización del yacente rígido facilita la deformabilidad en un doble sentido, al aumentar la movilidad de la zona de defensa y al disminuir la defensa basal.

Por consiguiente, la profundidad del yacente es de una gran importancia, y como aquélla depende de la posición, este es un factor muy importante para estimar la mayor o menor accesibilidad a la presión orogénica.

Las diferentes fases del plegamiento actúan selectivamente en relación: 1.º Con la calidad de las formaciones adyacentes (selectividad zonar). 2.º Con la calidad de las formaciones superpuestas (selectividad en vertical). La selección vertical ocurre como consecuencia, y en relación a la diferente accesibilidad de las formaciones y sus materiales, en función de su mayor o menor resistencia interior y de su posición más o menos resguardada. Uno de los resultados de la selección es el plegamiento disarmónico. También la selectividad zonar depende en mucha parte de la calidad sustancial, pero no depende tanto de la mayor o menor movilidad de una sustancia individual como de la movilidad media de series rocosas enteras. Se manifiesta en que el plegamiento afecta más intensamente las masas rocosas, que en sentido horizontal yacen más próximas a

un macizo enmarcante o a un umbral rígido. En sentido horizontal protege la distancia de una zona rígida, en sentido vertical la proximidad.

Plegamiento y trabajo de plegamiento.

El trabajo que realiza la presión orogénica al estrechar el material pétreo a un espacio más reducido se descompone en: 1.º Traslación lateral (empuje). 2.º Traslación vertical (alzamiento). 3.º Deformación; entendiendo por deformación el conjunto de transformaciones dentro de las masas pétreas, cualquiera que sea su escala, tanto las grandes, como son los sistemas de pliegues, como las pequeñas deformaciones interiores.

En los débiles plegamientos sajónicos la traslación lateral es muy pequeña, y en conjunto el trabajo de plegamiento es comparativamente muy económico, en el sentido de que merced a la propiedad de actuar sobre una masa de gran movilidad puede lograr tanto su deformación como su alzamiento con mucho menor esfuerzo. Se comprende bien este último punto, ya que para levantar en masa un kilo de hierro o un kilo de agua a determinada altura hay que realizar mucho trabajo; pero, si se trata de alcanzar esa misma altura por alargamiento del material, logrado por compresión, el esfuerzo que se ha de realizar es mucho menor si el material es móvil, o sea fácilmente deformable.

La magnitud de deformación queda en todo caso como el factor decisivo, y si examinamos las diversas formas de plegamiento desde el punto de vista de la economía del trabajo, vemos que puede verificarse de dos modos: 1.º El plegamiento se acentúa en las sustancias que ofre-

cen menor resistencia. 2.º El plegamiento se reduce al mínimo posible y se sustituye por otras formas de adaptación al menor espacio, que son favorecidas por determinadas circunstancias.

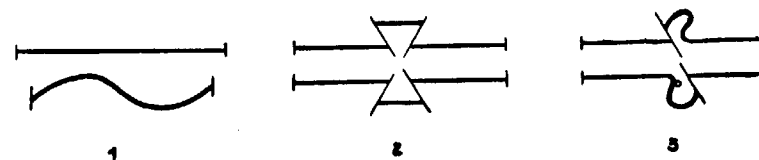


Fig. 40.

La figura 40 indica las condiciones de trabajo desde el punto de vista de su economía, según la manera de adaptarse a un espacio menor.

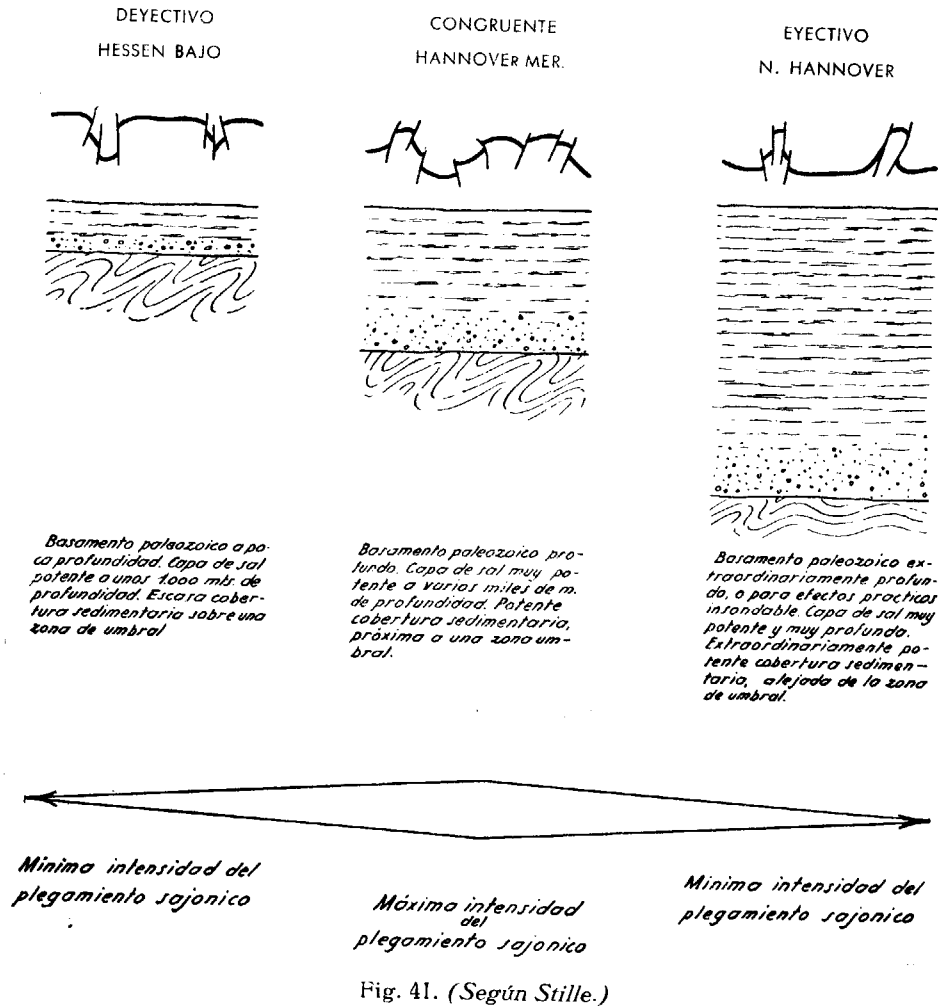
El caso primero exige el máximo de trabajo; un intermedio ofrece la solución segunda, y en la solución tercera tenemos un mínimo y además una localización mayor.

Pero estos dos últimos casos exigen determinadas circunstancias que faciliten la intrusión en el techo o en el muro. Así pues, la localización de los procesos tectónicos a la estrecha zona media, posible cuando existen allí materiales de gran movilidad, ocasionan un gran ahorro de trabajo.

Aplicación al caso de los plegamientos sajónicos. Tipos congruente e inyectivo.

En el caso de los plegamientos sajones la máxima intensidad está representada en el plegamiento congruente de Hannóver meridional, y disminuye tanto hacia la depresión (Norte de Hannóver) con un tipo eyectivo, como hacia el umbral (Hessen bajo) con su tipo deyectivo (41).

Esta distribución está perfectamente de acuerdo con los principios que acabamos de establecer en las consideraciones anteriores.



Si tenemos en cuenta la selectividad zonar, vemos que el umbral actúa en la zona de Hessen como macizo protector, y su distancia a él protege también la ya lejana zona

del Norte de Hannover, a pesar de la gran movilidad que da a su fondo la gran cobertura sedimentaria. El bajo Hessen es poco afectable por las presiones orogénicas, el Norte de Hannover poco accesible. En cambio el Sur de Hannover es afectable y accesible, por eso se dan allí los máximos plegamientos, que suponen el mayor trabajo.

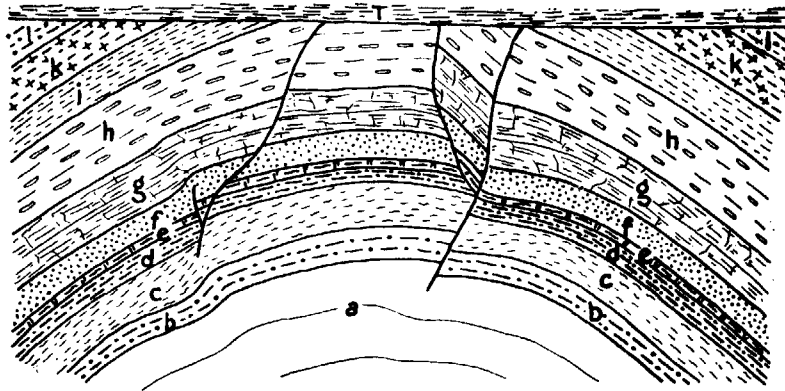
Si consideramos la selectividad en vertical, observamos una clara oposición entre los tipos de Niederhessen y Norte de Hannover. En el primer caso los materiales responden de una manera parecida. En cambio en el tipo eyectivo del Norte de Hannover hay una reacción marcadamente diferencial de los materiales móviles (arcillas, areniscas, margas arcillosas y, sobre todo, de la sal), es decir, un comportamiento disarmónico.

Podemos condensar estos razonamientos en las consideraciones de que las formas incongruentes de plegamiento ahorran trabajo en oposición a los congruentes, en parte por reducción del plegamiento, en parte por acumulación de los doblamientos en los materiales más móviles. Y de que el plegamiento incongruente resulta cuando hay diferencias relativas considerables entre la accesibilidad de sistemas dispuestos en capas superpuestas, accesibilidad que es consecuencia en parte de circunstancias de posición, en parte de composición. Tenemos los tipos deyectivo o eyectivo, según sean el techo o el muro más fácilmente accesibles.

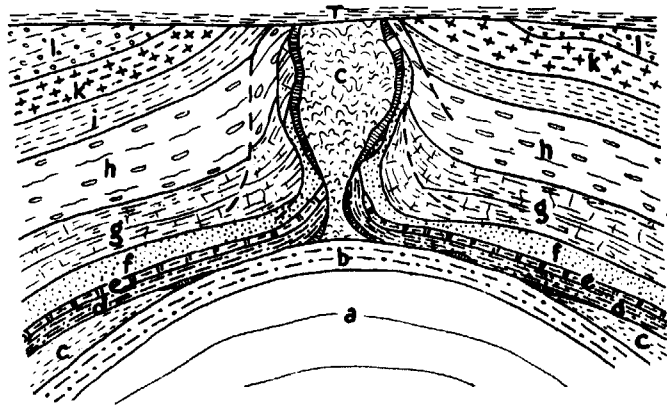
Producción selectiva de tipo bien eyectivo o bien deyectivo.

Extendiendo la explicación de la última idea apuntada, haremos su aplicación al caso sajónico.

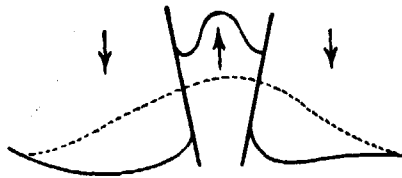
Las masas intensamente comprimidas en sentido hori-



-a-



-b-



-c-

La línea de puntos indica el desarrollo que tendría un anticlinal normal.

Fig. 42.

Caso a: Abovedamiento anticlinal normal por comportamiento armónico de las capas. Caso b: Inyección por movilidad y comporta-

zonal deben ganar el espacio correspondiente en sentido vertical. Esto sólo puede ocurrir en el sentido de la compresión decreciente, por eso no ocurren juntos los tipos eyectivos y los deyectivos, ya que, por la disposición general, la inyección no puede hacerse en cada zona más que en un solo sentido. No es pues indiferente, ya que las circunstancias condicionan favoreciendo uno u otro tipo, pero no pueden favorecer los dos simultáneamente. Así pues, tenemos: a) Plegamiento deyectivo con «zona profunda» rígida («bei Starrer Tiefe»). En Niderhessen hay una zona de cobertura de poca potencia con un yacente plegado (varisco) próximo. b) Plegamiento eyectivo con «zona profunda» móvil («bei mobilerer Tiefe»).

En la zona del Norte de Hannóver el yacente varisco no ha actuado, a causa de su profundidad, como macizo protector. Pero tanto como esta causa ha influido la facilidad de despegues locales entre el yacente y las capas portadoras de las sales permianas. Estas tenían al comenzar los plegamientos una potencia que quizás alcanzaba los 1.000 metros, bajo una cobertura sedimentaria de varios miles de metros. El grado geotérmico alcanzado da a las sa-

miento disarmónico de los estratos, en su grado extremo de las chimeneas salinas.

En el caso a se ha supuesto que todas las capas de a hasta l son de movilidad parecida, mientras que en el caso b se ha supuesto que las capas c (masas salinas) y, en menor grado la f, tienen una movilidad relativa muy superiores a las de las demás. La economía de trabajo se manifiesta en el hecho de que los procesos tectónicos se efectúan, en lo posible, en las zonas de menor resistencia. El hundimiento y retraso de los flancos es, en cierta medida, la reacción desencadenada por el proceso eyectivo (esquema c). Es una de las concausas de la existencia de sinclinales amplios en la tectónica eyectiva. (Según Stille.)

les, según las experiencias de Milch (105), un incremento excepcional de su movilidad.

La forma eyectiva tiene como origen una especial susceptibilidad de determinadas zonas profundas, y una resistencia relativa en la cobertura.

Al ocurrir los plegamientos sajónicos se tenía en Hannover del Norte, al revés que en Hessen, una masa profunda de gran movilidad, bajo una cobertura de mayor resistencia. Ahora bien, el mayor estrechamiento de la base significa la expansión relativa de la cobertura; tenemos entonces una disminución de la compresión hacia la superficie, y en esa dirección avanzan ahora determinadas partes de los pliegues (fig. 42).

Plegamiento inyectivo salino y ascensión de la sal. Chimeneas salinas.

Inyección hacia arriba, motivada por su movilidad, es decir, un avance tectónico incrementado de los materiales más móviles, bajo presión orogénica, es lo que han experimentado las montañas de sal de las depresiones de Hannover. Es un caso extremo de esfuerzos disarmónicos, dirigidos hacia arriba, de masas móviles, cuya eyección extremada lleva a la perforación vertical. Todo lo que la sal tiene de estable en los lechos superficiales de la corteza, durante los tiempos anorogénicos, lo tiene de móvil, incluso a estos niveles altos, bajo la presión orogénica, y esta propiedad alcanza, naturalmente, un aumento enorme, con profundidad incrementante, siempre que un yacente rígido

(105) L. Milch: «Über zunahme der Plastizität bei Kristallen durch Erhöhung der Temperatur». - N. Jahrb. f. Mineralogie, etc. 1909.

basal no la contenga dentro de su zona o macizo de protección.

El proceso entero reside en una transmisión de adaptables masas salinas, desde la región de mayor compresión y mayor movilidad a las zonas de cobertura de expansión relativa (c de la figura 42).

Vemos que en la interpretación mecánica de Stille es la movilidad del material salino la que condiciona la tendencia ascensional, sin mencionar para nada su ligereza, manteniendo así una posición firmemente anti-isostática, en contra de las ideas expuestas poco antes por Arrhenius y Lachmann (106), quienes establecieron la idea del mecanismo isostático, basando la causa del movimiento ascensional en el menor peso específico de la sal. Para Stille, la presión orogénica es la causa fundamental. La ligereza un mero factor que colabora. Está influenciado siempre por la idea de que la sal sólo se mueve en las fases orogénicas, perfectamente precisables y definidas, es decir, episódicamente; no puede, pues, atribuir efecto fundamental alguno a la ligereza ya que la presión isostática, por su propia naturaleza, habrá de actuar permanentemente hasta el restablecimiento de la isostasia más completa, originando un movimiento secular, es decir, sostenido. Así lo consideraron, en efecto, Lachmann, Arrhenius, Harbort y Seidel en aquella época, y muchos otros entonces y posteriormente. Para Stille, la sal descendió durante los tiempos anorogénicos con todos los demás materiales, comportándose como ellos en las depresiones.

Resume Stille: el movimiento ascensional de la sal es

(106) Sv. Arrhenius y R. Lachmann: «Die physikalisch-chemischen Bedingungen bei der Bildung der Salzlagerstätten und ihre Anwendung auf geologische Probleme». - Geol. Rundschau. 1912-13.

menos la eyección de los materiales especialmente ligeros, sino mucho más la de los especialmente móviles.

La fuerza de los hechos obligó más tarde a Stille a modificar sus opiniones (107) pero, como vamos a ver en seguida, apenas cede nada de sus posiciones. En 1920 quedó sólidamente establecido por Gripp (108) que las chimeneas salinas de Lüneburg y Hamburg habían experimentado movimientos fuera de las fases entonces aceptadas. Por consiguiente, llegó a la conclusión de que las chimeneas salinas ofrecen también movimientos ascensionales, durante épocas que en la tectónica normal se consideran como anorogénicas. Pero Stille no va tan lejos como Gripp en esta conclusión. Reconoce, en efecto, que la sal puede, bajo determinadas circunstancias, moverse en épocas que *para las rocas no salinas* consideramos como anorogénicas, pero no acepta, como han hecho otros geólogos, que la isostasia puede ser el puente que liga, a lo largo de los tiempos anorogénicos, sin interrumpirlos, los movimientos iniciados y acentuados en tiempos orogénicos por las presiones laterales, sino que insiste en la motivación tangencial, incluso en los tiempos anorogénicos.

Establece para ello una comparación entre las tectónicas, que denomina normal, salina y el vulcanismo. Denomina tectónica «normal» la de las rocas de movilidad normal en oposición a las modificaciones de *situ* que experimentan las masas pétreas altamente móviles, entendiéndolo por movilidad su adaptabilidad, su ductibilidad («Gefügigkeit») a la presión orogénica. La diferencia entre las for-

(107) Hans Stille: «Normaltektonik, Salztekonik und Vulkanismus». — Zeits. der Deut. Geol. Ges. Tomo 4. Año 1922.

(108) K. Gripp: «Steigt das Salz zu Lüneburg, Langenfelde, und Segeberg episodisch oder Kontinuierlich auf?». — 13 Jahresberichte Niedersächsischen Geol. Ver. 1920.

mas tectónicas extremas (montañas-bloques por un lado, mantos de corrimiento y cobertura en el otro extremo) yace, no en la diferente gradación de las fuerzas actuantes, sino en la de las calidades de los materiales afectados. El tipo del accidente tectónico es, en grado superior, dependiente de las circunstancias de movilidad de aquéllos. Incluso pliegues y fallas no son efectos tectónicos esencialmente distintos, sino que el fallamiento es, en palabras de Cloos, «la prosecución del plegamiento con otros medios» (109) («Fortsetzung der faltung mit andern Mitteln»).

Hay, pues, una serie gradual de la movilidad de los materiales. En un polo, el de la estabilidad, tenemos el macizo cristalino, o sea el que por intenso plegamiento y solidificación de repetidas intrusiones ha alcanzado la rigidez. En el otro, en el de la movilidad, tenemos los magmas. Vulcanismo es, para Cloos, la tectónica del material de alta movilidad, ya que en las rocas solidificadas observamos efectos de las mismas fuerzas que actúan sobre masas menos móviles. Es decir, que todos los fenómenos volcánicos están ligados a procesos tectónicos, a las presiones laterales.

¿Cómo concuerda esta tectónica del material altamente móvil con la experiencia alcanzada sobre la localización en el tiempo de los acontecimientos tectónicos? El estudio detallado demuestra que hay conexión entre los plegamientos y las intrusiones, aunque por causas circunstanciales algunos grandes plegamientos no han sido acompañados de intrusiones magmáticas.

Lo que interesa sobre todo hacer notar es que también conocemos gran número de procesos volcánicos de origen

(109) H. Cloos: «Der Mechanismus tiefvulkanische Vorgänge». — Año 1921.

profundo en *tiempos anorogénicos*, y ello es una prueba de que también durante los tiempos de epirogénesis actúan las presiones laterales. Así pues, en la tectónica de los materiales más móviles (los magmas), falla nuestra diferenciación entre orogénesis y epirogénesis. No sólo la intensa compresión de los tiempos orogénicos, sino también las más débiles de los epirogénicos, pueden causar variaciones de posición en los magmas.

Entre estos extremos de tectónica normal y vulcanismo se intercala, como un puente, la tectónica salina, que obedece en cierta medida a las presiones tangenciales también durante los tiempos anorogénicos. Esta presión lateral es el motivo principal, aunque no el único, de los procesos tectónicos; colaboran otros, y en casos individuales sería uno de ellos la presión isostática.

La posición de Stille es pues, en 1922, la de seguir manteniendo que no se ha demostrado la continuidad del movimiento ascensional de la sal, si bien ésta puede tener lugar en tiempos que son anorogénicos para las rocas normales, e insiste en ello en su obra fundamental, «Grundfragen der Vergleichenden Tektonik» (1924). Toda la escuela de Stille está empapada, gira alrededor de la idea de la conexión de los fenómenos tectónicos y fases orogénicas bien determinadas y coetáneas y, por consiguiente, a las presiones laterales.

Veamos cómo exponen el mecanismo de la ascensión salina geólogos de otras formaciones.

Lacoste explica la ascensión de la sal del siguiente modo (46): la tectónica salífera es siempre regida por el régimen tectónico de conjunto, del que no es sino un reflejo, un caso particular, y la ascensión de la sal es debida a las compresiones. Estas determinan juegos del zócalo, dislocaciones importantes o fracturas locales que a su vez

provocan en la cobertura la formación de pliegues normales o volcados. Las presiones tangenciales proceden luego a inyectar el núcleo plástico y a mantener su ascensión. Todo pliegue anticlinal puede de esta manera evolucionar progresivamente hacia una estructura que presente los caracteres de un pliegue diapiro. En ninguna zona del Rif meridional se ha podido comprobar la existencia de manifestaciones salíferas, independientes de la tectónica general, que impliquen un simple mecanismo isostático (del tipo definido por Lachmann y Arrhenius).

Pero además, los estudios realizados en el Rharb por el método gravimétrico, han comprobado que los pliegues de núcleo salífero se comportan como masas más densas que los terrenos que atraviesan, o al menos que la mayor parte de ellos. De manera que la investigación de un núcleo de material salino se practica en el Rharb como la busca de una masa densa, que es además eléctricamente muy resistente, es decir, todo lo contrario de lo que la lógica permite en apariencia esperar. Si posteriores estudios en otras regiones del globo demostrasen que este hecho es general, habría que admitir que la plasticidad, mucho más que la ligereza, interviene en la formación y ascensión de las masas salinas. Abunda, pues, en las mismas ideas y criterios que Stille, obtenidas en región muy alejada y de distintas características tectónicas.

Posiciones intermedias.

Muchos geólogos han adoptado posiciones intermedias haciendo intervenir ambos mecanismos, isostático y tangencial, bien interviniendo en conjunto en una misma es-

estructura, bien actuando aisladamente en una misma región tectónica. Veamos algunos ejemplos, además de los ya citados a lo largo del texto.

Viennot (59) considera que en la zona subpirenaica francesa (región del Adour), la isostasia mantiene el movimiento ascensional en las calizas entre los períodos orogénicos. El complejo plástico continúa emigrando hacia las soluciones de continuidad superficiales, después de terminar los empujes orogénicos bajo el peso de las potentísimas capas de sedimentos acumulados sobre las zonas sinclinales vecinas.

Harrison afirma, por el estudio de las condiciones del Golfo Pérsico (66), que las chimeneas salinas pueden presentarse indiferentemente en áreas de plegamiento intenso, moderado, o suave, aunque es condición necesaria la existencia de una pesada, potente y desigual masa de sedimentos sobre una formación salina preexistente. Pero si las presiones laterales son suficientemente intensas no es necesario que la presión vertical sea tan grande.

Gignoux establece la diferencia entre los casos en que hay una íntima relación entre los anticlinales debidos a las fuerzas orogénicas habituales y los más típicos domos de sal, que prueba que son aquéllas las que han iniciado y alimentado la inyección, y los ejemplos en que surgen en absoluta quietud tectónica, donde la isostasia es el motor impelente.

Las explicaciones clásicas se han movido entre los polos opuestos de las teorías isostática y tangencial y tienden a estabilizarse en la posición intermedia, consistente en admitir la intervención de ambas, bien actuando en conjunto, o por separado, en una misma región, e incluso subsistiendo ambas en algunos casos. Es decir, se conservan ambas, perdiendo su exclusividad.

Otras teorías.

Pero no han faltado explicaciones de otra índole, que exponemos más bien a título de curiosidad.

Tenemos, por ejemplo, la explicación de Fulda (110) para los yacimientos de sales permianas del centro y N. de Alemania. Partiendo de la idea de una estructura tectónica yacente, delineada por fallas y macizos, establece que la cobertura sedimentaria de dichas sales no basta para ponerlas en movimiento fluidal, ya que éste empieza, según las experiencias de Geller, sólo cuando las presiones son de varios miles de atmósferas. El movimiento de la sal lo atribuye a presiones tangenciales, pero de índole peculiar. Puesto que los plegamientos allí son débiles e incapaces también, según él, de desplazar la sal, busca un motor suficiente en las fuerzas de palanca originadas por los basculamientos de las dovelas en sus márgenes. Estas son las que ejercen sobre las masas salinas presiones tangenciales, acumulándolas a varios kilómetros de distancia, antes de comenzar su movimiento ascensional. Fué rebatido por Woldstedt (98), partidario de la teoría isostática, tanto por estimar que las experiencias de Geller eran de imposible aplicación, a causa de no haber tenido en consideración el factor tiempo, así como por considerar que la cobertura no puede ofrecer suficiente resistencia o reacción, y empieza, debido a ello, a levantarse.

Y como idea aun más apartada de las concepciones

(110) E. Fulda: «Über Salztökonik». — Zeitsch. der Deut. Geol. Ges. Tomo 78. 1926.

habituales tenemos la explicación de Seidl (111) para el mismo caso, en que basándose en analogías morfológicas entre las deformaciones que experimentan a la tracción los materiales (rocas y metales) (fig. 43) y la estructura de

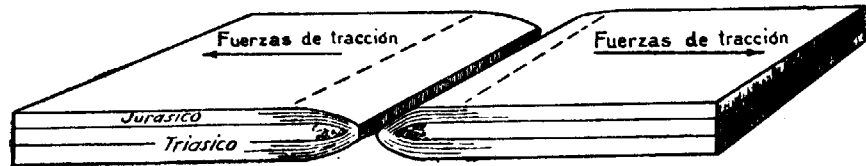


Fig. 43.—Esquema del desgarre de una serie sedimentaria apoyada sobre una masa salina y movable sobre ella. (Según Seidl, 1926.)

algunas chimeneas salinas, considera que éstas son debidas a fuerzas tensionales que exceden el límite elástico de los materiales pétreos que las constituyen.

Diapirismo magmático.

El concepto del fenómeno de diapirismo ha sido extendido notablemente por Mrazec (42), Wegmann (112), Stille (113), Nicolesco (114) y otros, a todos los fenómenos de perforación e intrusión de un material sedimentario o eruptivo, que puede ser más plástico o más rígido que

(111) E. Seidl: «Salztektonik und Zerrung». — Zeitsch. der Deutsche, Geol. Ges. Tomo 78. 1926.

(112) P. Wegmann: «Über Diapirismus». — C. Soc. Geol. de Finlandia, n.º 3. 1930.

(113) H. Stille: «Normal Tektonik, Salztektonik und Vulkanismus». Zeitsch Deutsche Geol. Ges. Monatsber Bd. 74. 1922. Berlín, 1923.

(114) Nicolesco: «Anticlinaux diapirs, sédimentaires, volcaniques et plutoniques». — C. R. Somm. Soc. Géol. de France. 1929.

los terrenos encajantes. De manera especial, Brives (115), Wegmann y Stille engloban ciertos fenómenos de intrusiones eruptivas en los fenómenos de diapirismo en general.

Nicolesco (114) señaló con gran énfasis la analogía entre los diapirismos, que llama sedimentarios, volcánicos o plutónicos. Se apoyaba para ello, por un lado, en la autoridad de Mrazec, que nunca hizo una gran distinción, y habló ya de diapirismos magmáticos y eruptivos. Por otro lado, en sus propias observaciones realizadas en Madagascar, donde hay regiones ricas en manifestaciones volcánicas, algunas de las cuales rasgan completamente el permo-trías, y otras no llegan a la superficie, pero tanto unas como otras determinan un levantamiento más o menos marcado de los estratos encajantes, dando lugar a accidentes en todo comparables, por su morfología y causalidad, a los pliegues diapiros y sus numerosas variantes.

Distingue, pues, anticlinales diapiros sedimentarios, volcánicos y plutónicos, comprendiendo con este último término aquellos grandes accidentes de carácter regional, formados por elevación en masa del magma, con levantamiento y digestión de las rocas del techo. En estos importantes accidentes, que aparecen en el centro de grandes regiones anticlinales, rebasando ampliamente el marco de lo local, quedan incluídas, por consiguiente, las masas batolíticas. Es, pues, Nicolesco, uno de los geólogos que más latitud han dado a la voz «diapirismo», en el sentido del vulcanismo y plutonismo.

En la obra ya citada de Glangeaud (74) se establece

(115) A. Brives: «Relations du trias et des roches eruptives tertiaires in Afrique du Nord». — Congrès Géol. Int. XIII sesión. Belgie, 1922.

una comparación entre el diapirismo magmático y el de los complejos salinos. Sentado que la morfología de las intrusiones es función de la viscosidad y de la rigidez del magma, así como de los accidentes tectónicos encontrados por la roca intrusiva en su ascensión, este punto de vista permite establecer un paralelismo interesante entre las intrusiones de rocas eruptivas y los fenómenos de diapirismo.

En este orden de ideas establece Glangeaud varios estadios, desde el punto de vista magmático. En su primer estadio, el magma, muy fluido, encuentra discontinuidades estratigráficas y tectónicas, a lo largo de las cuales se inyecta. Sería comparable al caso del triás puramente intrusivo, estudiado por los geólogos en la zona argelina. El mecanismo sería análogo. Un segundo estadio estaría representado por los «volcanic plugs» de la región de Cavallo, los cuales meramente levantan las capas en su periferia. La analogía de estos domos con los salinos sería no solamente de orden morfológico, sino también dinámico. En un tercer estadio, el magma, más o menos enfriado, desempeña el papel de un material semi-rígido. Es el tipo bysmáltico.

Dos condiciones que regían fundamentalmente el mecanismo de los domos salinos son también de importancia en este caso. La profundidad de intrusión, que modifica intensamente la plasticidad del magma, y la superficie de intrusión, cuyo aumento le permite cortar los accidentes tectónicos y las series sedimentarias. Para una superficie pequeña, el magma se comporta, a menudo, como el material sedimentario de la misma plasticidad y rigidez.

Ya dijimos antes que Cloos considera que una parte esencial del vulcanismo, especialmente del vulcanismo profundo, ha de ser tratada como la tectónica de materia-

les muy móviles, partiendo de la consideración que los movimientos de los magmas están condicionados por las mismas fuerzas que los de las rocas normales (sedimentarias) y que los tipos especiales de los movimientos magmáticos han de explicarse por el estado altamente móvil de los magmas fluidos.

También hemos expresado antes que Stille no establece ninguna diferencia fundamental entre los fenómenos de intrusión magmática, o salina. Es una diferencia de grado, más que de índole.

Mientras que hace cien años se consideraban los procesos tectónicos como consecuencia de intrusiones ocurridas en el transcurso de los acontecimientos ígneo-volcánicos, la concepción moderna es la contraria, y son éstos los que se alinean en la serie de los tectónicos.

La sal tiene, con respecto a su movilidad, una posición intermedia entre la roca normal y los magmas. Estos pueden deformarse tectónicamente incluso en tiempos anorogénicos, sin que por ello dejasen, según Stille, a la idea franca de que el motivo principal de toda tectónica sea la presión lateral.

Cuadros de clasificación.

Lotze (6) trata de resumir, en el siguiente cuadro, las relaciones entre la tectónica salina y la normal:

	ZONAS DE ESCASO FONDO SEDIMENTARIO		ZONAS DE GRAN FONDO SEDIMENTARIO		ZONAS DE ESCASO FONDO SEDIMENTARIO	
	DE TENSION		Neutros	DE COMPRESION		Como la roca normal
	Débiles ← →	Intensos ← →		Intermedios ← →	Intensos ← →	
Esfuerzos tectónicos	Formación de fosas y grietas			Plegamientos intensos		
Reacción primaria de la corteza	Intrusión en grietas		Chimeneas salinas de tipo normal	Plegamientos menos intensos		Plegamiento de tipo germánico
Movimiento de la sal	Formación de fosas y grietas		Formación de transición	Plegamientos menos intensos		Plegamientos intensos de tipo alpino
Comportamiento tectónico de la sal	Pasivo, sólo llena los espacios		Modifica los espacios	Plegamientos menos intensos		Plegamientos intensos de tipo alpino
	Creciente		Tectónica propia de la sal	Creciente		

(Según Lotze.)

En relación con la tectónica de los materiales salinos, es interesante reproducir el cuadro que expone Lotze de las diferentes reacciones de los diversos materiales, tal como se ha deducido de la observación de los yacimientos salinos del Zechstein alemán.

Intensidad de la deformación y de la plasticidad crecientes:

Plasticidad creciente ↓		ELEMENTOS TABULARES	PLIEGUES NORMALES	CHIMENEAS SALINAS
		Arcilla salina	Apizarramiento; raramente fracturas	Casi siempre rota, desgarrada, migajamiento
Anhidrita	Apizarramiento; fracturas	Intensamente desgarrada, a menudo replegamientos	Predomina la deformación plástica. Formas de desgarradura de conformación plástica; en parte intensa gneisificación	
Sal	Roturas y desgarramientos raros; plegada	Escasísimas fracturas. A menudo plegamiento de tipo fluidal. En las zonas de mayores esfuerzos textura pizarrosa cristalina	Intensísimo plegamiento fluidal. Mantos replegados. Textura pizarrosa cristalina más extendida	
Silvinita	Pliegues sin desplazamiento	Replegamiento vivaz, a veces complicado, especialmente en forma zonar	Complicadas estructuras fluidales en replegamiento conjunto con la sal	

(Según Lotze.)

Ofitas.

Hay un hecho muy importante, íntimamente relacionado con el diapirismo y del que hemos hecho abstracción intencionada. Consiste en la presencia constante de las rocas eruptivas dentro de los complejos salinos y, en el caso de España, de las ofitas del keuper dentro de, prácticamente, todos los afloramientos, que en una manera más o menos clara pueden incluirse dentro del diapirismo.

Es un problema muy complejo, nada claro por ahora, y cuyo discernimiento es, por sí solo, materia sobrada para ser objeto de un cuidadoso análisis, para el que se requiere una formación de especialista petrógrafo. Escapa, pues, a nuestra esfera y a mi intención al comenzar este trabajo. Actualmente, nuestro querido colega portugués J. Coteló Neiva dedica su atención precisamente al problema de la relación genética entre las rocas eruptivas y el diapirismo a que acompañan, y prepara una publicación sobre este apasionante y enigmático tema.

Como indicó Lacoste (46), no hay montaña de sal sin pitones eruptivos, ya sean basaltos, basaltos doleríticos, ofitas, etc., que aparecen en todos los afloramientos de los núcleos salíferos. Muchas opiniones encontradas se han expuesto sobre las razones de esta extraña asociación.

Cierto es, que muchas veces se puede comprobar que son restos arrancados por el material salino a mantos volcánicos interstratificados o insertados entre los materiales sedimentarios que aquél atraviesa diapíricamente y arrastrados con él hasta la superficie. Así se han interpretado las ofitas de algunos diapiros en España, allí donde se comprueba en afloramientos normales que las ofitas se encuentran como mantos efusivos en el keuper o en el

rético, y Lacoste señala que este es el caso en algunas localidades del Rif meridional y del Pre-Rif, donde hay, comprobadas, erupciones triásicas sobre todo, pero también secundarias y terciarias. Estos materiales eruptivos, han podido ser, y en efecto lo han sido, arrancados por el triás en los terrenos atravesados por él y arrastrados en su masa.

Sin embargo, hace notar Lacoste, que el aspecto tan macizo, compacto y homogéneo de los diques y tapones eruptivos que muestran algunos afloramientos salíferos, permiten pensar que este material eruptivo no ha sido sencillamente aprisionado en el complejo salino, sino que ha desempeñado un papel activo, y éste sería el siguiente: puesto que cada fase orogénica ha determinado intrusiones o erupciones de magmas, es verosímil que el plegamiento haya originado una atracción de las masas flúidas a las bóvedas nacientes o zonas de resistencia mínima. Este fenómeno es parecido al del desplazamiento de la sal, tantas veces citado, hacia el núcleo del pliegue. En una misma estructura de núcleo plástico, el material salífero y el eruptivo han podido desempeñar idénticos papeles mecánicos, de manera que cada nueva intrusión ha acentuado bruscamente el fenómeno de la perforación, sostenida durante los intervalos amagmáticos por el empuje más lento y flexible del núcleo salífero.

Constantes y propiedades físicas de los materiales.

A lo largo de este trabajo se ha mencionado continuamente que son las propiedades físicas de los materiales salinos las que les permiten adoptar tan peculiares posicio-

nes tectónicas, lo mismo en el caso de que se conceda a la plasticidad o a la ligereza el papel predominante o que se admita la intervención de ambas propiedades.

Conviene, pues, ocuparse de ellas y expresar algunos valores numéricos. Lo haremos con poca extensión, ya que de otro modo habríamos de adentrarnos en el campo complejísimo de la geofísica y de la experimentación geológica, lo que aparte de rebasar el propósito de este trabajo requiere una preparación de la que carecemos.

Es enorme la cantidad de tiempo y de atención que desde el establecimiento de la geofísica se ha dedicado a la experimentación de las propiedades físicas de los materiales de la corteza, tanto en el laboratorio como en el campo (geofísica aplicada), y que se han expresado en infinidad de publicaciones. Acompañamos a nuestras ligeras consideraciones algunas citas bibliográficas, que permitirán al lector interesado en la cuestión engranar el tema geofísico con el del diapirismo. La definición de la movilidad de un material se puede enfocar desde un punto de vista general, como hace el geólogo, o físico, como hace el geofísico.

Para Stille (102), la movilidad de un determinado material pétreo o de una zona terráquea comprende aquel conjunto de cualidades que facilitan o dificultan su adaptabilidad («Einpassung, Gefügigkeit») a un espacio más pequeño o estrecho. Por móvil se ha de entender dúctil; por estable, resistente a las presiones orogénicas. Y ello depende, no de la manera, sino solamente del grado, ya que no existen, entre los materiales que consideramos, ni los absolutamente estables ni los completamente móviles. Hay, pues, que precisar cuál es el *grado* de resistencia que se opone al estrechamiento.

La plasticidad es el factor que desempeña en ello el

papel más importante, al facilitar los doblamientos que ocurren al adaptarse a un espacio menor. Para Heim es plástica la roca que se deforma sin fractura.

La movilidad circunstancial de una roca es función de las más diferentes circunstancias físicas y se altera con ellas. Aumenta con el incremento de la profundidad, ya que la temperatura y la presión son factores movilizados. Es la «movilidad latente», según la denominaba Heim, que tienen las rocas en profundidad durante los tiempos anorogénicos.

Cuando se inicia la presión orogénica puede ésta suministrar a las masas salinas su alto grado de plegabilidad. En profundidad, a la máxima profundidad a que es observable por las explotaciones mineras o los sondeos, la sal se comporta como un cuerpo rígido, y aun muy rígido. En ninguna otra roca se pueden crear tan grandes cavidades sin ayuda de entibación. Sin embargo, cuando, por otra parte, se observa que la sal extraída, incluso a muy pequeñas profundidades, muestra violentísimas deformaciones y plegamientos, en deformación sin fractura, es decir, esencialmente plástica, debemos suponer (siempre según Stille) que en la época de su deformación existía una fuerza movilizadora, y ésta era, probablemente, la presión orogénica.

Por consiguiente, a la temperatura y a la gravitación debe añadirse, en determinados casos, la presión orogénica como factor movilizador, al aumentar la plasticidad y facilitar las recristalizaciones, remineralizaciones y traslaciones. Resume Stille este concepto en la siguiente frase: «La gravitación de cobertura hace deformable, la dislocación, en circunstancias, incrementa la deformabilidad y deforma».

Los valores de la fluencia plástica de diversos materia-

les, entre ellos las rocas salinas, han sido objeto de minuciosa investigación, experimentación y discusión (116).

Existen relaciones entre la fluencia plástica y la elasticidad. Reich (117) ha estudiado las relaciones entre la elasticidad y la plasticidad, y deduce que las deformaciones plásticas pueden ser de muy distintos tipos, según se consideren rocas y cristales. Hay que entender por plasticidad de los cuerpos sólidos la suma de todas las deformaciones permanentes, cualquiera que sea su tipo. Los estudios experimentales demuestran que las rocas con un gran valor del módulo de elasticidad (E) experimentan escasa deformación permanente y viceversa.

Los valores de E para la sal común y la silvinita son los siguientes (según Geller):

	MÍNIMA FLUENCIA PLÁSTICA A LA TEMPERATURA AMBIENTE	E. 10 ⁻¹¹	K. 10 ¹² = COMPRESIBILIDAD
Sal común	7.900 Kg.-cm. ²	3,35	4,12
Silvinita	5.800 Kg.-cm. ²	2,47	5,6

Estas cifras se refieren al comienzo de deformaciones plásticas ya considerables, pero en pequeña escala comienzan ya a presiones mucho menores.

En la tabla de la figura 44 se ofrecen los valores de E y K para algunos materiales pétreos y minerales, naturales.

Pero es preciso acoger con gran reserva las cifras ex-

(116) Hay datos y abundante bibliografía sobre este asunto en la obra de Fr. Rinne: «Über das Fließen fester Stoffe, insbesondere der natürlichen Salze». — Zeitschr. f. Kristallographie. T. 16. 1924-25.

(117) H. Reich: «Über Gesteinselastizität». — Zeits. der Deut. Geol. Ges. Tomo 79. 1927.

perimentales, porque, como repetidas veces se ha hecho notar por diversos geólogos, es muy difícil aprehender el factor tiempo, y prácticamente imposible encajarlo en el marco de la experimentación. Ya hemos dedicado un párrafo, más o menos lírico, a la importancia de este factor en los hechos geológicos. Lees (97) recusa precisamente los valores de Geller. Basándose en observaciones y medi-

MATERIAL	E. 10 ⁻¹¹	K. 10 ¹²
Hielo	1,00	,
Parafina	0,17	33,36
Silvinita	2,47	5,60
Sal de roca	3,35	4,12
Cuarzo	5,11	2,70
Yeso.. ..	5,51	2,50
Espato calizo	9,90	1,39
Dolomía	11,40	1,21
Areniscas del keuper	0,94	14,70
— del bunt	1,67	8,25
— molásicas	1,96	7,04
Margas pizarreñas	4,69	2,94
Arcillas pizarreñas	6,13	2,25
Caliza de Solenhoffen	5,76	2,39
— del muschelkalk	5,80	2,38
— numulítica	6,05	2,28

Fig. 44.—Valores experimentales de los módulos de elasticidad (E) y compresibilidad (K) de algunas rocas y minerales.

das practicadas en los domos salinos del Laristán, expresa que el hecho de que la sal pueda fluir en ellos monte abajo, como los glaciares de hielo, merced a una presión que es solamente la que ejercen las capas de sal situadas más arriba, es muy significativo. Indica que la fuerza necesaria para hacer la sal plástica en la Naturaleza es sólo una fracción de la necesaria en los experimentos de laboratorio,

donde no entra el factor tiempo. Los experimentos y cálculos de Geller, utilizados luego por Fulda (103), arrojan para la sal una presión de 7.850 Kg.-cm.², que representan un peso de 3.600 m. de sedimentos normales, mientras que la evidencia de los glaciares salinos indica que 1.000 m. son suficientes para llegar a la fluencia. En las mismas ideas abunda Woldstedt (98), refiriéndose igualmente a la aplicación por Fulda (103) de las cifras experimentales obtenidas por Geller, citando el clásico ejemplo del lacre, típicamente rígido para la experimentación instantánea y deformable con el tiempo para su propio peso, como lo son, en muy variable medida, todos los materiales. También señaló Stille (118) la importancia del tiempo como factor movilizador, indicando que debe actuar en muy distinta escala en las orogénesis y en los largos tiempos anorogénicos.

Otro factor importantísimo que modifica los valores experimentales es la consolidación que experimentan las rocas por su plegamiento. No es cosa de extenderse en consideraciones sobre fenómeno tan conocido y que es, en parte, causa de hechos tan importantes como la permanencia de las masas continentales (cratones de consolidación) y rigidez de las masas paleozoicas en países de plegamientos hercinianos. No sólo reduce su compresibilidad, sino también, como ya hemos indicado, su plegabilidad, es decir, su plasticidad. Siempre insistió Stille en la índole especial de las masas consolidadas que ya no son plegables, o lo son en muy especiales condiciones (118).

Vemos, sin excepción, relaciones entre la resistencia elástica y la resistencia contra deformaciones plásticas.

(118) Hans Stille: «Mudanzas en el magmatismo de nuestro globo».—Traducción de J. M. Ríos: Estudios Geológicos n.º 4. 1946, y «Vocabulario Alemán de Tectónica», compilado por J. M. Ríos, misma publicación.

Ambas cualidades están tan ligadas, según Reich (117), que se puede pasar de la una a la otra.

Ocupémonos ahora de la densidad. El cuadro de la figura 45 nos expresa los valores de la densidad y de la compacidad de diferentes materiales. Este último factor es tan interesante como el primero y, ahora, desarrolla un papel importantísimo en las investigaciones geofísicas co-

MATERIALES	COMPACIDAD	DENSIDAD
Tierras sueltas y secas	1,20	1,30
— apisonadas y frescas.	2,10	>
Toba caliza.	1,69	>
Greda	2,20	>
Arenas secas	1,50	>
Carnalita	>	1,60
Sal de roca	>	2,15
Yeso	>	2,25
Anhidrita	>	2,90
Caliza	2,49	2,41
Margas.	2,21	2,68
Areniscas.	1,88	2,67
Arcillas compactas.	2,02	2,69
Margas arcillosas.	2,06	2,67
Arcillas pizarreñas.	2,42	2,70

Fig. 45

designándose con el nombre de espacio total de poros («Gesamtporenraum»), del que es función, así como de la densidad. Estos valores se deben a Reich y Zwerger (119).

Pasemos ahora a la aplicación práctica de las características físicas de las rocas. Las estructuras salinas tienen con frecuencia un enorme valor comercial, tanto por las

(119) H. Reich y R. v. Zwerger: «Taschenbuch der Angewandten Geophysik».—Leipzig, 1943.

mismas sales, comunes o potásicas, como por el azufre que las acompaña a veces, o por el petróleo que se presenta muy a menudo en sus flancos. No es sólo por mera curiosidad científica por lo que se ha dedicado tanta atención y estudio a los fenómenos diapíricos y se ha gastado tanto dinero en su investigación por medios geofísicos y en sondeos para su exploración y explotación.

Prácticamente, todos los métodos de investigación geofísica se han aplicado a la de las estructuras salinas, sobre todo a los domos, y se emplean, para ello, tanto los gravímetros y balanzas de torsión como los métodos sísmicos, eléctricos, magnéticos y radiactivos (120). Los resultados han sido muchas veces desconcertantes y, con frecuencia, contradictorios desde el punto de vista teórico.

Así, por ejemplo, hemos dicho ya que Lacoste (46) señaló cómo investigaciones gravimétricas en el Rharb (Rif meridional) demostraron que los pliegues de núcleo salífero se manifestaron, en forma desconcertante, como masas más densas que los terrenos que atraviesan, es decir, que a pesar de la ligereza de la sal, base de las teorías isostáticas, un núcleo de material salino se comporta como una masa más densa que las formaciones que la rodean. Otro resultado, también poco esperado, que se registró allí, es que además de ser más densa es eléctricamente más resistente, a pesar de presentar, casi siempre, las estructuras, manantiales de agua salada, que es un magnífico conductor.

No sabemos que estén bien aclaradas estas contradicciones y otras muchas, que desde luego serán más aparentes que reales. Claro es que en la práctica no tienen

(120) A. S. Eve y D. A. Keys: «Applied Geophysics». — 3.^a ed. 1938. Cambridge.

demasiada importancia. La geofísica opera con valores diferenciales, no con valores absolutos, y lo hace así, precisamente, para eliminar estas sorpresas, por lo que cada vez se huye más de aplicar cuadros de valores de tipo general. Se practica, ahora, experimentando previamente en cada caso sobre el terreno, no los valores absolutos, sino las diferencias que ofrecen las propiedades sísmicas, eléctricas, etc., que se estudien. Sólo cuando se ha obtenido el cuadro local de valores se procede al estudio geofísico. Se ha podido comprobar que la historia y estado tectónico de la región tiene una influencia decisiva, modificando en sumo grado las constantes físicas, y nos referimos no a muestras individuales, sino a la reacción en conjunto de la estructura. Se ha podido demostrar que a este factor hay que atribuir muchas de las sorpresas y aparentes desconformidades (121, 122 y 123).

Los métodos gravimétricos y los sísmicos son los más empleados para la investigación de las cúpulas salinas. Como la sal tiene una gran elasticidad y baja densidad, la propagación de la onda sísmica se hace en ella a mayor velocidad que en las formaciones encajantes. Mientras que en el estudio en laboratorio de las velocidades de propagación la fórmula de la velocidad es sencilla:

$$\left(v = c \sqrt{\frac{\text{elasticidad}}{\text{densidad}}} \right)$$

expresando la elasticidad por el módulo de Young E, o elasticidad longitudinal; para una masa grande hay que

(121) M. Rössiger: «Physikalische Verfahren der Untergrundforschung in Erdölgebieten». — Oel-Organ. n.º 7. Junio, 1935.

(122) R. v. Zwerger: «Aufsuchung und Umgrenzung schleswig-holsteinischen Salzaufbrüche mit Hilfe gravimetrischer Verfahren». — Oel und Kohle n.º 41. 1939.

(123) W. Wolff: «Über Drehwaagemessungen am Salzstock von Gifhorn». — Misma publicación.

MATERIALES	VELOCIDADES
<i>Valores medios, según J. J. Jakosky (124)</i>	
Material superficial meteorizado	305-610
Grava y arcilla arenosa.	408-915
Arena (húmeda).	610-1.830
Arcilla... ..	915-2.750
Agua de mar.	1.460-1.530
Arenisca.	1.830-3.970
Caliza	2.140-6.100
Margas	2.750-4.270
Sal	4.270-5.190
Granito	4.580-5.800
Rocas metamórficas	3.050-7.020
<i>Valores aparentes de rocas españolas, según J. M. López de Azcona (125)</i>	
Aluvial	{ Tierras de labor..... 800
	{ Aluviones compactos y arenas o gravas húmedas..... 1.500-2.000
Mioceno.	{ Areniscas, margas y arcillas ... 1.700 2.000
	{ Margas típicas. 3.000 4.000
Oligoceno....	{ Calizas margosas..... 4.800
	{ Yesos..... 3.500-4.500
	{ Yesos y anhidritas 5.000
	{ Margas grises 2.500-3.000
	{ Sal..... 5.500-7.500
Eoceno... ..	{ Margas del flysch 2.600-2.700
	{ Calizas lutecienses..... 4.500-7.000
Cretáceo.	{ Caliza compacta 5.500-7.000
Jurásico	{ Calizas liásicas tableadas 5.500-7.000
	{ Yesos y margas yesosas del keuper.. 4.000-5.000
	{ Anhidritas..... 4.250
	{ Arcillas. 1.700 2.100
Triásico	{ Sal..... 6.500-7.500
	{ Calizas conchíferas..... 4.500-5.500
	{ Areniscas del bunt 2.400-3.000
	{ Pudíngas cuarcíferas 6.000 9.000
	{ Margas basales.. 1.700-2.500
Paleozoico y arcaico	{ Calizas de montaña 5.500-8.000
	{ Pizarras 4.500-5.500
	{ Gneis porfiroides y micáceos 5.500
	{ Granito..... 6.000-8.000

Fig. 46.—Velocidades de propagación en metros segundo. Estos datos son extracto de cuadros mucho más completos.

hacer intervenir E, o elasticidad longitudinal (124), n , módulo de torsión o rigidez, y k , elasticidad cúbica o de volumen. La fórmula es, entonces:

$$v = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}n}{d}}$$

Modernamente se hace intervenir la compacidad, que es función de la densidad y además el volumen de poros («Gesamporenraum»).

Los cuadros de la fig. 46 expresan valores de propagación de ondas en diferentes materiales. Los valores expresados por López de Azcona (125) se refieren a valores aparentes de la velocidad de propagación de ondas longitudinales, casi siempre mayores que los reales.

Para que se tenga una idea de la eficacia de los métodos geofísicos aplicados a la investigación de estructuras salinas, diremos que Eve y Keys (120) señalan que antes de 1924 sólo se habían descubierto, merced a ellos, 24 cúpulas salinas en el distrito costero del Golfo de Méjico, mientras que en 1930 se conocían ya 150, de las cuales 110 descubiertas por medios geofísicos, sobre todo balanza de torsión y sísmicos.

La exploración del suelo alemán, realizada de 1932 en adelante, es un modelo de método y sistema en la inves-

(124) J. J. Jakosky: «Exploration Geophysics».—1940.

(125) J. M. López de Azcona: «Velocidad de propagación de las ondas sísmicas longitudinales».—Inédito.

Tengo que expresar mi agradecimiento a mis queridos compañeros D. W. Castillo, D. J. M. López de Azcona y D. J. F. Caley, que me han orientado, dado ideas y suministrado bibliografía referente a estas especialidades geofísicas, que ellos cultivan con tanta brillantez, y al Sr. López de Azcona, además, por su permiso para publicar datos de un trabajo aun inédito.

tigación geofísica (126) y ha descubierto infinidad de estructuras de interés.

El estudio experimental de la tectónica plástica, no se ha limitado a la determinación de las características físicas de los materiales o a sus reacciones diversas a efectos dinámicos, sino que ha tratado de reproducirse el fenómeno íntegro del diapirismo, tanto en lo referente a los pliegues perforantes, intrusiones laminares y chimeneas salinas.

Se han publicado numerosísimos trabajos sobre estos temas, y ya hemos dado alguna referencia de este tipo de experiencias. Hubiéramos deseado darla mucho más completa, pero la mayor parte de las citas bibliográficas que tratan de estos temas no han estado hasta ahora a nuestro alcance.

* * *

En las páginas que anteceden hemos expresado primero, en términos generales, las características y alcance del fenómeno diapírico, arriesgando una definición original. Luego hemos analizado el caso de unas típicas chimeneas salinas que se presentan en el Norte de España, apenas estudiadas por los geólogos españoles. Al razonar sobre sus características y deducir su mecanismo, hemos llegado a un cierto número de conclusiones desligadas ya del caso particular, es decir, referentes al proceso diapírico como tipo tectónico. Prácticamente, todas ellas estaban ya establecidas anteriormente, pero entonces lo ignorábamos. Luego extendimos ese tipo a varios afloramientos triásicos de zonas contiguas de Navarra, proceso un poco

(126) A. Bentz y H. Cloos: 'Erdöl und geophysikalische Reiches aufnahme in Grossdeutschland'.—Oel und Kohle vereinigt mit Petroleum. 41. 1939.

atrevido, puesto que se refiere a una zona que conocemos sólo por conceptos generales y por el estudio de los pocos trabajos que sobre ella se han publicado, obteniendo nuevas consecuencias para el tipo diapírico general.

Vivamente interesados en el tema, empezamos a analizar y describir ejemplos diapíricos tomados de las zonas más interesantes del mundo entero, agrupándolos en forma sistemática, dentro de las limitaciones que impone la variedad de tipos intermedios, preparándonos así para la mejor comprensión del fenómeno estudiado desde un punto de vista teórico y general.

Por el interés que ofrece la zona del Golfo Pérsico y por determinadas analogías con la zona de chimeneas salinas del Norte de España, dedicamos atención especial a sus descripciones, que además ayudan a comprender el mecanismo diapírico en su caso más complejo, precisando el número y calidad de sus exigencias estratigráficas y tectónicas.

Este proceso nos permitió llegar al estudio teórico con un caudal de experiencia tal que su comprensión era inmediata. No nos pesa el haber llegado a su estudio por el método en que trabaja la práctica geológica y que suele ser el inverso del que habitualmente usa la exposición científica, la cual expone primero las leyes, después su aplicación.

Hemos utilizado para ello toda la bibliografía sobre la materia que ha estado a nuestro alcance. No se ocultará al lector, ni pretendemos ocultarlo, que excepto las tres primeras partes, y aun esas en cierta medida, las restantes son un verdadero mosaico, tomado casi siempre literalmente de diversos autores, y al de este trabajo no le ha quedado más que la poca lucida labor de ensamblarlos con paciencia, procurando construir un sistema y des-

arrollo armónico en las ideas y en la exposición. En realidad, son coautores de este trabajo todos los geólogos cuyos nombres se mencionan en él, y a buen seguro que a muchos de ellos no les agradaría verse más o menos ligados, aunque sólo sea en la proximidad física del papel, a teorías con las que no estaban de acuerdo.

Al fin de la bibliografía va una lista de todos aquellos trabajos que hubiéramos querido y no hemos podido consultar. Pero nuestro propósito es persistir en la tarea y quizá podamos ofrecer una ampliación a este trabajo aportando nuevos datos, y desde luego nos proponemos, una vez ampliada así la base de argumentación, hacer un resumen, todo lo breve, ordenado y sistemático que nos sea posible, de las características más generales de morfología y mecanismo, junto con un cuadro de la clasificación ordenada de los diversos tipos que pueden incluirse en la voz *DIAPIRISMO*.

BIBLIOGRAFIA

1. RÍOS, ALMELA y GARRIDO: «Contribución al conocimiento de la Geología Cantábrica (un estudio de parte de las provincias de Burgos, Alava, Vizcaya y Santander)». — *Bol. del Instituto Geológico y Minero de España*. Tomo LVIII, 18.º de la 3.ª serie. 1945.
3. HERNÁNDEZ SAMPELAYO (P.): «Investigaciones petrolíferas en España». — *Revista Minera, Metalúrgica y de Ingeniería*. 1932-1933.
4. JORGE (E. DE): «El triásico en Vizcaya». — *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*. Vol. I, n.º 5.
6. LOTZE (F.): «Steinsalz und Kalisalz». — *Lagerstätten der Nichterze*. III, 1 Gebrüder Borntraeger. Berlín, 1938. 930 páginas.
7. ALMELA, GARRIDO y RÍOS: «Una nueva mancha liásica en Nograro (Val de Gobeia, Alava)». — *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*. Tomo 12. 1944.
9. INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA: «Hoja geológica de Vitoria (n.º 112), escala 1:50.000». Año 1936.
10. INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA: «Hoja geo-

- lógica de Miranda de Ebro (número 173), a escala 1 : 50.000».—1946.
11. INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA: «Hoja geológica de Eulate (n.º 139), a escala 1 : 50.000». Año 1933.
 12. CIRY (R.): «Etude Géologique d'une partie des Pyrénées de Burgos, Palencia, León et Santander». Tesis doctoral. Toulouse, 1940.
 13. SCHRIEL (W.): «Die Sierra de la Demanda und die Montes Obarenes».—Berlín, 1930. Traducción española por L. G. Sáinz y J. Gómez de Llerena: «La Sierra de la Demanda y los montes Obarenes».—*C. S. de I. C., Instituto Juan Sebastián Elcano*. Madrid, 1945.
 14. KARRENBERG (H.): «Die Postvariscische Entwicklung des Kantabro-Asturischen Gebirges».—Berlín, año 1934. *Beitr. zur Geol. der Westl. Medit. Abh. der Ges. der Wiss. zu Göttingen. Math. Phys. Klasse III. Folge, Heft 11*.
 16. LOTZB (F.): «Über "Autochtone klippen" mit Beispielen aus den Westlichen Pyrenäen».—*Nachrichten v. d. A. der W. z. Göttingen*. IV. N. F. Tomo I, n.º 1. 1934.
 18. VIENNOT (P.): «Recherches structurales dans les Pyrénées occidentales françaises».—*Bol. del Serv. del Mapa Geol. de Francia*, n.º 163, t. 30. París, año 1937.
 19. JACOB (CH.): «Zone axial, versant sud et versant nord des Pyrénées».—*S. Géol. de France*, Livre Jubilaire. 1930.
 20. INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA: «Hoja geológica de Allo (n.º 172), a escala 1 : 50.000».—Año 1945.

21. PALACIOS (P.): «Los terrenos mesozoicos de Navarra».—*Bol. del Instituto Geológico y Minero de España*. Tomo XX, 2.ª serie. 1919.
22. SÁBNZ (C.): «Notas acerca de la estratigrafía de la parte occidental del país vasco y NE. de la provincia de Burgos».—*Las Ciencias*. Año V, número 1. 1940.
23. VALLE DE LERSUNDI (A. DEL): «Descubrimiento de la cuenca potásica de Navarra».—*N. y C. del Instituto Geol. y Min. de España*, n.º 4. 1932.
25. ALMELA (A.): Informe sobre la zona de Gastiain. (Inédito).
26. INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA: «Hoja de Viana (n.º 171), a escala 1 : 50.000».—Año 1933.
27. RÍOS, ALMELA y GARRIDO: «Datos para el conocimiento estratigráfico y tectónico del Pirineo Navarro (2.ª parte)».—*Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, n.º 14. 1945.
29. SOC. GÉOL. DE FRANCE: «Compte Rendu Somm. des Séances».—*Reunion extraordinaire dans les Pyrénées Basques d'Espagne*. N.º 17. 1934.
30. LAMARE (P.): «Les elements structuraux des Pyrénées Basques d'Espagne. Essai de Synthèse Tectonique».—*Bull. Soc. Géol. de France*. 1932.
31. LLOPIS LLADÓ (N.): «Sobre la estructura de Navarra y los enlaces occidentales del Pirineo».—*Miscelánea Almera*. Barcelona, 1945.
32. BATALLER (J. R.): «Reunión extraordinaria de la Sociedad Geológica de Francia, en el país Vasco-Español».—*Ibérica*. 1934.
34. DAGUIN (F.): «Contribution a l'étude géologique de la Region Prerifaine (Masse Occidentale)».—París, año 1927.

- X 35. CIZANCOURT (H. DE): «Plissements disharmoniques et diapirisme (Sur la tectonique des terrains salifères)».—*Bull. de la Soc. Géol. de France*.
36. BUXTORF (R.): «Géologie du front septentrional des Pyrénées au Nord de St. Giron. Ariège».—*Bulletin de la Soc. de H. N. de Toulouse*. 1930.
37. CASTERAS (M.): «Recherches sur la structure du versant nord des Pyrénées Centrales et Orientales».—*Bull. des Séances de la Carte Géol. de France*. Paris, 1933.
38. PROMMELL (H. W. C.) y CRUM (H. E.): «Salt Domes of Pennsylvanian age in Southeastern Utah and their influence in oil accumulation».—*Bull. of the American Association of Petroleum Geologists*. Volume XI. 1927.
39. RAAF (J. F. M. DE): «Notes on the Geology of the Southern Rumanian Oil District with special reference to the occurrence of a sedimentary laccolith».—*The Quaterly Journal of the Geological Society of London*. Vol. CI. Octubre, 1945.
- X 41. MRAZEC (M. L.): «Les plis diapirs et le diapirisme en general».—*Inst. Geológico de Rumania*. Comp. Rend. des Séances. Tomo IV. 1914-1915 (publicado en 1927).
42. MRAZEC (M. L.): *Über die Bildung der Rumanischen Petroleumlagerstätte*. 1907.
43. MACOVEI (G.): «Les gisements de Pétrole».—Paris, año 1938.
44. EHRMANN (F.): «De la situation du Trias et son role tectonique dans la Kabylie des Baborgs».—*C. R. Som. et Bull. de la Soc. Géol. de France*. IV Sér., T. XXII. 1922.
45. YOVANOVITCH (B.): «La Géologie du Pétrole au Ma-

roc».—*C. R. Som. et Bull. de la Soc. Géol. de France*. IV. Sér., T. XXII. 1922.

46. LACOSTE (J.): «Etudes Géologiques dans le Rif Meridional».—*Service des Mines et de la Carte Géologique du Protectorat de la Republique Française au Maroc*. Rabat, 1934.
47. LACOSTE (J.): «Sur quelques situations tectoniques du trias dans le Rif Meridional».—*C. R. Som. des S. de la Soc. Géologique de France*, 1931.
50. CHOPPAT (P.): «Note preliminaire sur les vallés tiphoniques et les eruptions d'Ophite et de Teschenite en Portugal».—*Bull. Soc. Géol de France*, 3.^a S., T. X., 1882.
«Nouvelles données sur les valles tiphoniques et sur les eruptions d'ophite et de teschenite en Portugal».—*Jornal de Sciencias Math. Phys. e Nat.* Lisboa, 1884.
53. CARRINGTON DA COSTA (J.): «Un caso de asphaltizaçao e os dobramentos desármonicos».—*Bol. da Soc. Geol. de Portugal*. Vol. I, fasc. 1. Oporto, 1941.
54. HEIM (A.) y MARGERIE (E. DE): «Les dislocations de l'écorce terrestre».—Zurich, 1898.
55. CARRINGTON DA COSTA (J.): «Valles tifónicos, diapirismo y algunas consideraciones sobre a occurrencia dos sais de potassio».—*Facultad de Ciencias de Oporto*, n.º 38, 3.^a sc. Oporto, 1944.
56. VIENNOT (P.): «Sur les extrusions, accidents speciaux et très aberrants qui jalonnent le bord des Pyrénées françaises».—*Compt. Rend. Ac. Sc.*, t. CLXXXVI. 1928.
57. FOURNIER (E.): «Sur le type structural dit "extrusion"».—*Bull. Soc. Géol. de France*. 1931.
58. VIENNOT (P.): «Première contribution a la connaisan-

- ce des extrusions Pyrénées».—*Bull. des Serv. de la Carte Géol. de France*, número 171. 1928.
59. VIENNOT (P.): «Sur les injections de trias dans le Bassin de l'Adour».—*C. R. des Séances de l'Académie des Sciences*. T. 190. París, 1930.
60. CASTERAS (M.): «Recherches sur la structure du versant Nord des Pyrénées Centrales et Orientales».—*Bulletin des Trav. de la Carte Géologique de France*, n.º 189. 1933.
61. MISCH (P.): «Geologie der mittleren Südpynäen». *Abh. der Gess. der Wiss. zu Göttingen. Math. Phys. Kl.* 19.
62. SELZER (G.): «Geologie der Südpynäischen Sierrren in Oberaragonen».—*Neues Jahrbuch für Mineralogie, etc.* 71. 1934.
63. GAVALA (J.): «Regiones petrolíferas de Andalucía». *Boletín del Instituto Geol. y Min. de España*, tomo XIII de la segunda serie. 1916.
64. RÍOS (J. M.): «Una nueva mancha liásica en Las Fraguas, provincia de Soria».—*Notas y Comunicaciones del Instituto Geol. y Min. de España*, número 9. 1942.
65. VIENNOT (P.): «Sur l'existence du type structural dit extrusion dans les Pyrénées de l'Aude».—*Bulletin de la Soc. Géol. de France*, IV Sér., T. 29. Año 1929.
66. HARRISON (J. V.): «The Geology of some Salt plugs in Laristan (Southern Persia)».—*The Quart. Journ. of the Geol. Soc. London*, Vol. 36. Año 1930.
67. BEVIER (G. DE): «Bull. of the Am. As. of Petroleum Geologists».
- 67'. TOLMACHOFF (I. P.): «A salt dome, Solenaya Sopca,

- in Northern Siberia».—*Economic Geology*. Diciembre, 1926.
68. FRIEDEL (G.): «Sur l'existence d'un dome de sel dans le bassin potassique oligocen d'Haute Rhin».—*C. R. des S. de l'Ac. des Sc.* Mayo, 1927.
69. STILLE (H.): «Das aufsteigen des Salzgebirges».—*Zeitsch. für Prakt. Geol.* 1911.
71. RASTALL (R. H.): «Lake and Rastall's Text book of Geology».—5.ª edición. Londres, 1945.
72. STILLE (H.): «Grundfragen der vergleichenden Tektonik».—Berlín, 1924. *Gebrüder Borntraeger*.
73. ALMELA (A.) y RÍOS (J. M.): «Mapa geológico de Lérida, a escala 1 : 200.000».—*Instituto Geológico y Minero de España*. Madrid, 1947.
74. GLANGEAUD (L.): «Sur les differents modes des gisements des roches intrusives tertiaires du littoral algerien, de Teries a Djidjelli. Leurs relations avec la tectonique de l'Atlas».—*Bulletin Soc. Géol. de France*, 5.ª Sér. 1934.
76. HIRSCHI (H.): «Über Persiens Salzstöcke».—*Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, Band XXIV. Heft 1/2. Zurich, 1944.
78. PILGRIM (G. E.): «The Geology of parts of the Persian Provinces of Fars, Kirman, Laristan».—*Mem. Geol. Surv. India*, Vol. XLVIII, Part. 2. Calcuta.
79. RICHARDSON (R. K.): «Die Geologie und die Salzdomme in SW. Teile des Persischen Golfes».—1926. «Weitere Bemerkungen zu der Geologie und der Salzaufbrüchen am Persischen Golf».—*Zentralblat. Min. Geol. u. Pal. Abt. B.* 1928.
80. VOITESTI (J. P.): «Quelques remarques sur l'age du sel des Regions Carpathiques».—*Bull. de la Soc. Géol. de France*, T. XIX. 1919.

81. LOTZE (F.): «Salzabscheidung und Salztektonik».—*Festschrift zum Geburtstag von Hans Stille*. Stuttgart, 1936.
83. VOITESTI (J. P.): «Sur l'origine du sel et les rapports tectoniques des massifs de sel avec les gisements de Pétrole en Roumanie».—*C. R. S. et Bull. de la Soc. Géol. de France*, IV Sér., T. XXI. 1921.
84. DOUVILLÉ (H.): «Les premières époques géologiques». *C. R. Ac. Sc. Paris*, 1914.
86. MARÍN (A.): «La depresión del Ebro. La tectónica y los yacimientos minerales».—*Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, tomo LVII. Año 1945.
87. BUCHER (W. H.): «The deformation of the Earth Crust».—*Princeton University Press*. 1933.
88. PRUVOST (P.): «Sédimentation et Subsidence».—*Livre jubilaire du Centenaire de la Société Géologique de France (1830-1930)*. Paris, 1930.
90. STOCES AND WHITE: «Structural Geology».—Londres, año 1935.
93. GOGUEL (J.): «Introduction a l'Etude Mécanique des Déformations de l'Ecorce Terrestre».—*Memoires de la Soc. Géologique de France*. 1943.
97. LEES (G. M.): «Discusión en la Geol. Soc. of London del trabajo de J. V. Harrison (66) sobre las chimeneas salinas del Laristán».—*The Quart. Journ. of the Geol. Soc.* Vol. 36. 1930.
98. WOLDSTEDT (P.): «Salztektonik».—*Zeits. der Deut. Geol. Ges.* Tomo 78. 1926.
99. HAARMANN (E.): «Bemerkung über Druckaufbereitung».—*Zeits. der Deut. Geol. Ges.* Tomo 79. Año 1927.

100. LOHEST (M.): «A propos des plis diapirs. Rappel de quelques principes de tectonique».—*Annales de la Soc. Géol. de Belgique*. Tomo 44. 1920-21. X
101. LOHEST (M.): «Experiences de Tectonique».—*Annales de la Soc. Géol. de Belgique*. Tomo n.º 39. Año 1911-12.
102. STILLE (H.): «Injektivfaltung und damit Zusammenhängende Erscheinungen».—*Geol. Rundschau*. Tomo VIII. Leipzig, 1917.
103. ZIMMERMANN (E.): «Wissensch. Bericht über Aufnahmen auf den Blättern Stadtilm und Plaue».—*Jahrb. Preuss. Geol. Landesanst.* 1889.
104. HARBORT (E.): «Zur Geologie der Nordhannoverschen Salzhorste».—*Zeitsch. der Deut. Geol. Ges.* 1910.
105. MILCH (L.): «Über zunahme der Plastizität bei Kristallen durch Erhöhung der temperatur».—*N. Jahrb. f. Mineralogie, etc.* 1909.
106. ARRHENIUS (Sv.) y LACHMANN (R.): «Die physikalisch-chemischen Bedingungen bei der Bildung der Salzlagerstätten und ihre Anwendung auf geologische Probleme».—*Geol. Rundschau*. año 1912-13
107. STILLE (H.): «Normaltektonik, Salztektonik und Vulkanismus».—*Zeits. der Deut. Geol. Ges.* Tomo número 4. Año 1922.
108. GRIPP (K.): «Steigt das Salz zu Lüneburg, Langenfelde, und Segeberg episodisch oder kontinuierlich auf?».—*13 Jahresberichte Niedersächsischen Geol. Ver.* 1920.
109. CLOOS (H.): «Der Mechanismus tiefvulkanische Vorgänge».—1921.
110. FULDA (E.): «Über Salztektonik».—*Zeitsch. der Deut. Geol. Ges.* Tomo 78. 1926.

111. SEIDL (E.): Salztekonik und Zerrung»—*Zeitsch. der Deutsche. Geol. Ges.* Tomo 78. 1926.
112. WEGMANN (P.): «Über Diapirismus».—*C. Soc. Geol. de Finlandia*. N.º 3. 1930.
113. STILLE (H.): «Normal Tektonik, Salztekonik und Vulkanismus».—*Zeitsch. Deutsche Geol. Gess. Monatsber.* Bd. 74. 1922. Berlín, 1923.
- X 114. NICOLESCO: «Anticlinaux diapirs, sedimentaires, volcaniques et plutoniques».—*C. R. Somm. Soc. Géol. de France*. 1929.
115. BRIVES (A.): «Relations du trias et des roches eruptives tertiares in Afrique du Nord».—*Congrés Géol. Int.* XIII sesión. Belgie, 1922.
116. RINNE (FR.): «Über das Fliessen fester Stoffe, insbesondere der natürlichen Salze».—*Zeitschr f. Kristallographie*. T. 61. 1924-25.
117. REICH (H.): «Über Gesteinselastizität».—*Zeits. der Deut. Geol. Ges.* Tomo 79. 1927.
118. STILLE (H.): «Mudanzas en el magmatismo de nuestro globo».—Traducción de J. M. Ríos. *Estudios Geológicos*, núm. 4, 1946, y «Vocabulario alemán de tectónica», compilado por J. M. Ríos. Misma publicación.
119. REICH (H.) y ZWERGER (R. v.): «Taschenbuch der Angewandten Geophysik».—Leipzig. Año 1943.
120. EVB (A. S.) y KEYS (D. A.): «Applied Geophysics». Tercera edición. Cambridge, 1938.
121. RÖSSIGER (M.): «Physikalische Verfahren der Untergrundforschung in Erdölgebieten».—*Oel Organ*. n.º 7. Junio, 1935.
122. ZWERGER (R. V.): «Aufsuchung und Umgrenzung schleswig-holsteinischen Salzaufbrüche mit Hil-

- fe gravimetrischer Verfahren».—*Oel und Kohle*, número 41. 1939.
123. WOLFF (W.): «Über Drehwaagemessungen am Salzstock von Gifhorn».—Misma publicación.
124. JAKOSKY (J. J.): «Exploration Geophysics».—1940.
125. LÓPEZ DE AZCONA (J. M.): «Velocidad de propagación de las ondas sísmicas longitudinales».—Inédito.
126. BENTZ (A.) y CLOOS (H.): «Erdöl und geophysikalische Reiche aufnahme im Grossdeutschland». *Oel und Kohle vereinigt mit Petroleum*. 41. Año 1939.

Incluimos la lista de una serie de publicaciones relacionadas con el tema del diapirismo; algunas muy interesantes, a juzgar por sus títulos, pero que no hemos podido utilizar en nuestro trabajo por no haber tenido acceso a los originales.

Bull. Amer. Assoc. Petr. Geol.:

- VON WATERSCHOOT VAN DER GRACHT (W. A. I. M.): «The Saline Domes of N. Western Europe».—Vol. I, p. 89 1917.
- BARTON (B. C.): «American Salt Dome Problems on the light of the Roumannian and German Salt Domes».—1925.
- STILLE (H.): «The upthrust of the salt masses of Germany». Vol. IX. 1925.
- AUTORES VARIOS: «The Geology of Salt Dome oil fields».—Volumen extraordinario de síntesis, con colaboración de diversos autores.—1926.
- CARLTON (D. P.): «West Columbia Salt Dome and oil fields. Structure of Typical American oil fields».—Año 1929.

LINCK (T. H. A.): «Experiments relating to Salt Domes structures».—Vol. XIV, p. 4. 1930.

LINCK (T. H. A.): «Mechanichs of formation of salt domes with special reference to Gulf Coast salt domes of Texas and Lousiana».—Vol. XVII. 1933.

NETTLBTON (L. L.): «Experiments relating, etc.».—Vol. XVIII, p. 1.175. 1934.

NETTLBTON (L. L.): «Fluid mechanism. of salt domes».—1934.

Petroleum:

KRAUS (M.): «Verticaldrucktektonik und Ölagerstätten».—N.° XIX, 6. 1923.

Journal of Geology:

IDDINGS (F.): «Bysmaliths».—Vol. 6. 1898.

GOLYER (E. DE): «The West Point, Texas, Salt Dome. Freestone Country».—Vol. XX, p. 661. 1919.

TORREY (P. D.) y FRAHLICH (C. E.): «An experimental study of the origin of Salt Domes».—Vol. XXXVII. 1926.

Soc. Geol. de Finlande:

WEGMANN: «Über Diapirismus».—C. Rendus. N.° 3. 1930.

Archiv. für Lagerstättenforschung:

SBIDL (S.): «Schurfen, Belegen und Schachtabteufen auf Deutschen Zechstein Salzhorsten».—Preussische Geologische Landesanstalt. Heft 16. 1921.

Zetschrift. für Pracktischegeologie:

KRAUS (M.): «Salz auftrieb und logarithmische spirale».—5. 1922.

Deutsche Geol. Gesselschaft:

HARBORT (E.): «Zur Geologie der Nordhannoverischen Salzhorstes».—Monats Berichte. Bd. 62. 1910.

Revue Petrolière:

NICOLESCO (C. P. N.): «Gisements petrolifères de la Perse». 1928.

Leidische Geol. Meedlingen:

ESCHBR (G.) u. KUENEN (P. H.): «Experiments in connection with Salt Domes».—151-182, 3. 1929.

Geol. Ges. zu Wien.

LEES (G. M.): «Salzgletscher um Persien».—Mitteilungen. 1927.

Journal Inst. Petrol. Technology:

LEES (G. M.): «Some depositional and deformational Problems».—Symposium of salt domes. London, 1931.

WADE (A.): «Intrusive Salt Bodies on Coastal Asir, South western Arabia».—Symposium of salt domes. London, 1931.

Zeitschrift Kali:

BENTZ (A.): «Salzstöcke und Erdölagerstätten».—321. 1929.

Geol. Survey of India:

PILGRIM (G. E.): «The Geology of parts of the Persian Provinces of Fars, Kirman, Laristan».—Vol. XLVIII, part. 2, p. 1-116. (Memoires). Calcutta.

Zentralblatt F. Min. Geol. und Pal.:

RIKARDSON (R. K.): «Die Geologie und die Salzdome im SW. Teile des Persischer Golfes».—Año 1926.

RIKARDSON (R. K.): «Weitere Bemerkungen zu der Geol. im den Salzaufbrüchen am Persischen Golf».—Abt. B., p. 43-49. 1928.

Zeitschrift f. angewandte Mathematik und Mechanik:

SEIDL (E.): «Probleme der Geologie insbesondere der Salzlagerstätten die zugleich probleme der angewandten Mathematik und Mechanik Sind».—Bol. 5, 13.455. 1925.

SEIDL (E.): «Ueber Beziehungen zwischen Materialverformung und Tektonischer Gesteinsverformung». Vortrag auf einladung der Universität Göttingen gehalten August, 1926.

Varios:

DALLONI (D.): «La Géologie du pétrole et les recherches de gisements petrolifères en l'Algerie».—Public. de la Fac. des Sciences de l'Univ. de l'Alger. 1922.

GREGORY (J. W.): «The Structure of Asia».—1929.

Finalizado ya este trabajo hemos recibido la publicación de G. ZBYSZEWSKI denominada: «Éssai D'Etude Experimentale sur les phénomènes "Tiphoniques"».—Soc. Geol. de Portugal. Oporto, 1947. Lamentamos que, por haber tenido ya ultimado e impreso éste, no se ha podido tener en cuenta para su redacción, y muy especialmente por referirse al tema del diapirismo experimental. Es un estudio minucioso y muy interesante.

INDICE

	<i>Páginas</i>
I. INTRODUCCIÓN	3
II. LOS DIAPIROS MODELO DE CANTABRIA.....	11
Material de los diapiros, página 16 (Diapiro de Salinas de Rosío, 16; Diapiro de Villasana de Mena, 17; Diapiro de Orduña, 18; Diapiro de Murguía, 18; Diapiro de Salinas de Añana, 18; Diapiro de Maestu, 18); Características originales de este material, 19.—Disposición tectónica, 20 (Diapiro de Salinas de Rosío, 21; Diapiro de Villasana de Mena, 24; Diapiro de Orduña, 26; Diapiro de Murguía, 27; Diapiro de Salinas de Añana, 29; Diapiro de Maestu, 31).—Mecanismo local, 32.—Mecanismo regional, 37; Edad de los diapiros, 38; Procedencia del material, 41; Condiciones sedimentarias de la localización, 43; Condiciones tectónicas de la localización, 45.—Localización de los diapiros cantábricos, 47.—Funcionamiento post-orogénico de los diapiros, 48.—Manantial energético y motivo de la localización, 51.	
III. LOS DIAPIROS NAVARROS	55
(Diapiro de Estella, página 56; Diapiro de Lácar, 59; Diapiro de Salinas de Oro, 61; Diapiro de Olló, 62; Diapiro de Atondo, 62).—Geología regional y posición de los diapiros con relación a la misma, 63 —Mecanismo regional de los diapiros, 69.	
IV. LOS ESTILOS DIAPÍRICOS	85
<i>Diapiros originados por presiones tangenciales</i> , página 85; Pliegues perforantes de núcleo plástico. Láminas salíferas, 85 (Rumania, 85; Atlas Africano, 91; Diapirismo en Portugal. Areas tifónicas, 99; Zona subpirenaica francesa, 104; Zona subpirenaica española, 112); Pliegues perforantes de núcleo rígido, 117 (Cadena Ibérica, 117); Tipo diapírico extrusivo, 121. —	

Páginas

Diapiros originados total o parcialmente por isostasia, 121; Domos salinos del Golfo de Méjico, 121; Otros casos típicos de funcionamiento isostático, 124 (Cúpula salina de Solenaya Sopca, en la Siberia nórdica, 125; Domo de sal de Meinheim, en la cuenca del Alto Rhin, 126; Domos salinos de Alemania del Norte, 126).—*Diapiros de mecanismo mixto entre tangencial e isostático*, 130; Montañas de Sal del Sur de Argelia, 130; Glaciares salinos del Laristán (SO. de Persia), 130.—*Tipos de tectónica semidiapirica condicionada por la gran plasticidad de los materiales*, 131 (Sierras marginales de Huesca y Lérica, 131).—*Diapirismo de las rocas hipogénicas*, 134.

V. UNA REGIÓN DIAPÍRICA NOTABLE: EL MUESTRARIO DIAPÍRICO DEL GOLFO PÉRSICO 139
 Morfología, página 141; Los materiales, 142 (a, chimeneas de material paleozoico, 142; b, Chimeneas de material mioceno, 146).—Funcionamiento tectónico, 146 (a, Chimeneas de material paleozoico, 146).—Comparación con las chimeneas salinas cantábricas, 151.

VI. EL MECANISMO DIAPÍRICO 157
 Origen de los materiales salinos, página 157.—Caracteres de la sedimentación continental, 163.—Funcionamiento tectónico, 167.—Mecanismo isostático, 171.—Presiones tangenciales, 180 (Los conceptos de «plegamiento inyectivo» e «inyección de plegamiento», 183; Los tres tipos de plegamiento sajónicos, 186; Influencia del factor «posición», accesibilidad a la presión orogénica, 186; Plegamiento y trabajo de plegamiento, 188; Aplicación al caso de los plegamientos sajónicos. Tipos congruente e inyectivo, 189; Producción selectiva de tipo bien eyectivo o bien deyectivo, 191; Plegamiento inyectivo salino y ascensión de la sal. Chimeneas salinas, 194). Posiciones intermedias, 199.—Otras teorías, 201.—Diapirismo magmático, 202.—Cuadros de clasificación, 205.—Ofitas, 208.—Constantes y propiedades físicas de los materiales, 209.

BIBLIOGRAFÍA 223

INVESTIGACION DE ELEMENTOS EXIGUOS EN CENIZAS DE CARBONES MINERALES ASTURIANOS

POR

JUAN MANUEL LOPEZ DE AZCONA

Y

ANTONIO CAMUÑAS PUIG

Desde el punto de vista geoquímico se da la denominación de elementos «raros» o «escasos» a los que están contenidos en la naturaleza en proporciones menores de 10^{-4} ; pero como en algunas ocasiones, entre ellas los carbones, interesan algunos elementos existentes en la corteza terrestre entre 10^{-2} y 10^{-4} , es por lo que en valoraciones espectroquímicas de elementos exiguos hemos considerado todos aquellos que estén en la naturaleza en proporciones menores de 10^{-2} .

La investigación de elementos escasos en minerales y en cenizas de seres vivientes en nuestros suelos y mares, es objeto de investigación por uno de nosotros desde hace varios años, pero el carbón es uno de los minerales no estudiados sistemáticamente por métodos espectroquímicos en España, y como Asturias es una provincia esencialmente carbonífera, fué el motivo para iniciar el trabajo de los carbones con muestras procedentes del antiguo Principado (I). La investigación se efectúa a partir de cenizas obtenidas de los carbones en cápsulas de cuarzo y con horno eléctrico. Las muestras analizadas son 50, amablemente proporcionadas por el licenciado Benedet, al que damos las gracias por la atención y escrupulosidad con que las seleccionó. El método de excitación elegido fué el de arco con corriente continua y directa de la red industrial de 110 voltios, con intercalación en serie de una resis-

tencia para que la corriente fuese de cinco amperios. Como electrodos auxiliares soporte se emplearon carbones de elevada pureza, preparados por el profesor Gatterer, que tienen boro como única impurificación, lo que indica que este elemento se encuentra siempre en los carbones, pues caso contrario hubiera partido el mencionado investigador de otro carbón que estuviese exento de este elemento. Como demostración de esta afirmación se puede citar el caso de las cenizas de alimentos vegetales, en ellas siempre hemos comprobado un enriquecimiento en boro; para su estudio es necesario recurrir a electrodos metálicos. Por contener boro los dos electrodos no fué posible valorarlo, pero lo consideramos como existente en todas las cenizas. En el electrodo inferior, que es el positivo, se perfora un cráter para depositar 0,02 gramos de cenizas de la muestra que ha de emitir, manteniendo la excitación del ejemplar y fotografía del espectro hasta la volatilización total.

Los espectrogramas se obtuvieron con espectrógrafo «Q 24», y se utilizó película «Agfa Photot. B». La valoración aproximada se efectuó por comparación visual con escalas de referencia de los mismos elementos, por no ser necesaria una apreciación mayor dada la amplia variación de la concentración de las impurezas de las cenizas de los carbones, con la distribución topográfica de las muestras.

Efectuada la interpretación de los 50 espectrogramas se comprobó la existencia de 19 elementos diferentes, además del carbono, con las siguientes frecuencias:

Al	100	Fe	100	Si.....	100
B	100	Ga	98	Ti.....	100
Be	80	Ge	58	Sr.....	78
Ca	100	La	64	V.....	100
Co.....	64	Mg.....	100	Zr.....	6
Cr	100	Mn.....	100		
Cu.....	100	Na.....	100		

Doce de ellos, que son: Al, B, Ca, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Na, Si, Ti y V, están contenidos en todas las muestras. En los adjuntos cuadros se dan las concentraciones de los doce elementos Be, Co, Cr, Cu, Ga, Ge, La, Mn, Sr, Ti, V y Zr, que existen en cenizas de carbones asturianos, y que su proporción en la naturaleza es menor de 10^{-2} . Es preciso advertir que si los carbones o sus cenizas se hubieran sometido a un tratamiento previo a la obtención de los espectrogramas, quizá se hubiera podido comprobar la existencia de más elementos escasos en los carbones asturianos.

Algunos elementos que el profesor V. M. Goldschmidt ha encontrado en cenizas de carbones, y que incluso ha estudiado su asociación, como son Ag, Au, Bi, Pb, Pd, Pt, Rh, Y (2), no tuvimos el consorcio de encontrarlos, pero esperamos poder reconocer algunos con el empleo de métodos de concentración, por tener referencias de la existencia de metales del grupo del platino en la cuenca carbonífera asturiana. Puede existir otra serie de elementos, como son: As, Cd y Zn, que requieren otra técnica, por volatilizarse al obtener las cenizas.

Si se observan los valores de algunos elementos correspondientes a cada una de las cenizas, se aprecia su existencia en mayores concentraciones que la media de la naturaleza, tal ocurre con el Co, Ga, Ge, La y Sr; esto indica la existencia de un fenómeno selectivo, principalmente en cuanto se refiere al galio y al germanio. Otros autores también habían apreciado este fenómeno y supuesto que la concentración puede tener lugar en una de las tres fases siguientes: 1.^a Durante la vida de las plantas, como está comprobado con respecto al boro. 2.^a Durante la descomposición de la sustancia orgánica, período en que algunos elementos, como consecuencia de las reac-

ciones producidas, forman compuestos solubles que son arrastrados por las aguas, quedando hidróxidos insolubles o compuestos orgánicos metálicos, y 3.^a Durante la formación de los mantos carboníferos pueden tener lugar reacciones con las aguas circulantes que lleven en disolución o en suspensión elementos escasos, con la consiguiente asimilación de los mismos. Estos procesos dan idea de la posibilidad de poder estudiar un método para localizar en una misma cuenca carbonífera la existencia de elementos en pequeñas proporciones, que pueda ser de interés su explotación, así como la posibilidad de seguir el proceso de formación de las diversas capas y su identificación.

Hace tiempo que por diversos métodos físicos se pueden identificar las distintas capas en una misma cuenca carbonífera, tal ocurre con la testificación eléctrica por variaciones de resistividad, por los cambios de actividad y con las diferentes velocidades aparentes de propagación de las ondas sísmicas por los techos o por los muros de las capas.

El geofísico sueco Lundber ideó un método de prospección denominado geobotánico, basado en la propiedad de que tanto los terrenos inmediatos a los criaderos minerales como el agua que por ellos discurre, se impurifican con pequeñísimas cantidades de los metales que constituyen las menas, y con un análisis espectroquímico de las mencionadas tierras, de los residuos secos de las aguas o de las cenizas de los vegetales se pueden localizar los criaderos. El mencionado investigador ha hecho resaltar otra particularidad sumamente interesante, y es que ciertas plantas tienen la propiedad de concentrar determinados metales; en algunos sitios llegó a reconocer leyes auríferas de 0,46 gramos por tonelada, proporción consi-

derablemente superior a la de los terrenos en que se desarrollaban, y señala que el *Equisetum arbense* llega a convertirse, en condiciones favorables, en una verdadera mena aurífera, ya que desarrollada en terrenos con leyes inexplotables las cenizas de esta criptógama llegan a dar 140 gramos de oro por tonelada. De análoga manera se pueden reconocer yacimientos de Cr, Ni, V, W, Mn, etc. En un trabajo anterior sobre cenizas de alimentos vegetales pudo comprobar uno de nosotros cómo las cenizas de la *Psaliota campestre* daban una elevada ley en plata (3). En la lista de plantas indicadoras de minerales figuran, entre otras, *Polycarpaea spirostylis*, para el cobre; *Viola calaminaria et zinci*, para el cinc; *Amorpha canescens*, para el plomo.

Las ideas mostradas anteriormente, algunos trabajos geoquímicos en que se demuestra que el contenido de CO₂ y SO₄ de determinadas rocas del Carbonífero de Taturia está asociado el mínimo de uno al máximo del otro (4); en Nueva Zelanda el boro de los carbones varía de 0,01 a 0,86 % (5); el Sr en algunas ocasiones llega al 1,1 % (6); el Ni en las cuencas del Kuzntesk varía del 0,1 al 1 % (7), y en algunas cuencas americanas las cenizas de los carbones llegan a utilizarse como verdaderas menas de Ni, y en otros sitios como de V; el galio y el germanio fué aislado en cantidades importantes, por Morgan y Daives, de cenizas de carbones de Northumberland; este último elemento, concentrado en los primeros momentos de la vegetación de la flora carbonífera según unos investigadores, y durante la descomposición de la sustancia orgánica o la formación de las capas carboníferas según otros (8), así como otros procesos análogos, nos han inducido a suponer: 1.º En la vegetación que dió lugar a los diversos mantos carboníferos pudo tener lugar una concentración de

determinados elementos químicos. 2.º Durante los diversos procesos geológicos a que estuvo sometida la sustancia orgánica de esta flora, durante los 200.10⁶ años transcurridos aproximadamente desde el período carbonífero, pudieron tener lugar erosiones, sedimentaciones, disoluciones, lapidificaciones, etc., ocasiones propicias para la eliminación en un determinado paraje de algunos de sus elementos, o bien para la aportación de uno nuevo procedente de terrenos inmediatos y, en algunas condiciones favorables, de formaciones lejanas.

Se investigaron en los espectrogramas los 68 elementos que en la zona espectral en que se ha operado, 2.250-5.200 Å, pueden ser reconocidos y se ha llegado a las siguientes conclusiones: 1.ª Es posible establecer diferencias de capas de carbón e incluso dentro de una misma capa, por el estudio espectroquímico en las cenizas de los elementos denominados escasos. 2.ª De los elementos contenidos en la naturaleza en proporción 10⁻², seis de ellos, que son: aluminio, calcio, hierro, magnesio, sodio y silicio, están comprendidos en todos los especímenes, sin que den datos interesantes para diferenciarlos entre sí. 3.ª No aportan datos de interés, en los estudios diferenciales de capas, el cobre, cromo y manganeso. 4.ª Por ser elementos diferenciales es de interés la identificación y valoración del berilio, cobalto, galio, germanio, lantano, estroncio, titanio y circonio.

El berilio no lo contienen algunas muestras, pero en otras está en la proporción de 10⁻⁶ y superior. Mientras unas cenizas carecen de cobalto, su proporción en otras es de 10⁻⁸. El galio está contenido en todas las cenizas, salvo una de la mina María Luisa, de Cíaño Santa Ana, las concentraciones de este elemento varían de 10⁻⁴ a 10⁻⁵, por tal motivo, su carencia en cenizas de carbones asturianos

puede considerarse como un dato interesante. El germanio sólo se aprecia aparentemente en la mitad de los ejemplares, y en proporciones cercanas al límite de su sensibilidad espectral con la técnica utilizada. El lantano resulta sumamente interesante por sus variaciones de concentración, llegando como máximo a cerca del 1 %. La cuarta parte de las muestras no contienen estroncio, en cambio en algunas otras la concentración rebasa el 0,1 %. El elemento que tiene mayor amplitud en la variación de sus concentraciones es el titanio, y pasa de 10⁻⁶ y 10⁻⁵, en Lláscaras, de Langreo, a 10⁻² en Hermorenda, de Laviana. Sólo se pudo reconocer la existencia del circonio en tres cenizas, pertenecientes una a la mina Santa Eulalia, de Varela, y dos a la Sabina, de Mieres.

Es de gran interés, a juicio de los autores, proseguir este trabajo con un número elevado de muestras asturianas del orden de 1.000 como mínimo, con el fin de poder establecer conclusiones de carácter definitivo para las diversas capas del Carbonífero asturiano, tanto desde el punto de vista de su posible identificación y localización, como de una posible concentración de elementos pesados en los fondos de los sinclinales. Hoy tienen gran importancia los métodos geoquímicos, biogeoquímicos y geobotánicos de prospección, y en ellos la técnica de uso más frecuente es la espectroquímica, que ha dado lugar a la denominación, usada por Rankama, de «Spectrographic prospecting». La prospección espectroquímica esperamos se desarrolle en nuestro país, que dispone de técnicos y material adecuado, tanto recurriendo a vegetación fósil, como es el caso de los carbones, o a viviente, como lo son los alimentos de origen vegetal (3).

CENIZAS DE CARBONES ASTURIANOS

N.º ESPEC- TROGRAMA	MINA	PROCEDENCIA	CLASE	COMPOSICIÓN ELEMENTAL ESPECTROQUÍMICA												
				Be	Co	Cu	Cr	La	Mn	Ga	Ge	Sr	Ti	V	Zr	
1	La Camocha..	Gijón	Granza....	6	4	3	3	3	4	5	6	3	4	5	5	5
2	Idem	Idem	Menudo ...	7	3	3	3	3	4	5	6	3	4	5	5	5
3	Coto del Musel	Pola de Laviana..	Galleta....	7	3	3	3	3	4	5	6	3	4	5	5	5
4	Idem	Idem	Menudo ...	7	3	3	3	3	4	5	6	3	4	5	5	5
5	Anieves	Tudela de Veguín	Galleta....	7	4	3	3	2	4	5	6	3	4	5	5	5
6	Cristina	Ablaña	Menudo ...	7	3	3	3	2	4	4	6	3	4	5	5	5
7	Llamas	Idem	Idem	7	4	3	3	2	4	5	6	3	4	5	5	5
8	Valdeporada..	Moreda	Idem	7	4	3	3	2	4	4	6	3	4	5	5	5
9	Hermorenda ..	Laviana	Idem	7	4	3	3	2	4	4	6	3	4	5	5	5
10	Tres Amigos..	Mieres	Granza....	7	4	3	3	2	4	5	6	3	4	5	5	5
11	Idem	Idem	Menudo ...	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
12	Alta	La Blaña	Idem	7	3	3	3	2	4	5	6	3	4	5	5	5
13	Santo Firme ..	Villabona	Idem	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
14	Quirós	Trubia	Idem	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
15	Troncos	Peña Rubia	Galleta....	7	4	3	4	2	3	5	6	3	4	5	5	5
16	Idem	Idem	Menudo ...	7	4	3	3	2	4	5	6	3	4	5	5	5
17	Campanal	Respinedo	Idem	7	4	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
18	El Fondón	Sama	Idem	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
19	San Tirso	Mieres	Galleta....	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
20	Lláscaras	Langreo	Menudo ...	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
21	Idem	Idem	Granza....	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
22	Idem	Idem	Menudo ...	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
23	Respinedo	Respinedo	Galleta....	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
24	Idem	Idem	Menudo ...	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
25	Idem	Moreda	Idem	7	4	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
26	Victoria	Cabaña Quinta..	Idem	7	4	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
27	Sta. Eulalia..	Varela	Idem	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
28	Sabina	Mieres	Granza....	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
29	Idem	Idem	Menudo ...	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
30	Sarriego	Sarriego	Granza....	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
31	Idem	Idem	Menudo ...	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
32	Samuño	Samuño	Galleta....	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
33	Idem	Idem	Granza....	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
34	Riquela	Reicastro	Menudo ...	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
35	Baltasara	Ablaña	Idem	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
36	Barredo	Mieres	Idem	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
37	Cobertoria	Cobertoria	Idem	7	4	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
38	Aller	Sovilla	Granza....	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
39	Idem	Idem	Menudo ...	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
40	La Arquera	La Arquera	Granza....	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
41	Idem	Idem	Galleta....	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
42	Idem	Idem	Granza....	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
43	Idem	Idem	Menudo ...	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
44	Modesta	Sama	Granza....	7	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
45	María Luisa ..	Ciaño Sta. Ana..	Galleta....	6	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
46	Sta. Bárbara..	Sta. Bárbara	Idem	6	4	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
47	Allamego	Allamego	Menudo ...	6	4	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
48	Riana	La Fresneda	Idem	6	4	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
49	La Piguera	La Piguera	Granza....	6	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
50	Idem	Idem	Menudo ...	6	3	3	3	2	3	5	6	3	4	5	5	5
Frecuencia %				80	64	100	100	64	100	98	58	78	100	100	100	6



BIBLIOGRAFIA

1. LÓPEZ DE AZCONA (J. M.) y CAMUÑAS (A.): *An. R. S. E de Fís. y Quím.* XLIII, 48. 1947.
2. GOLDSCHMIDT (V. M.): «The occurrence of rare elements in coal ashes».—*Research Staff*. 8 mayo 1943.
3. DEÁN (M.), LÓPEZ DE AZCONA (J. M.) y SANTOS (A): *Anales de Física y Química*. XLIII, 508. 1946.
4. RONOV (A. B.), VLADIMIROVA (M. E.), POLEVAJA (A. I.) y ETARIK (F. E.): *C. R. Acad. Sci. U. R. S. S.* XLIX, 662. 1945.
5. RAFTER (T. A.): *Nature*. CLV, 332. 1945.
6. SCHACHOV (F. N.) y EFENDI (M. E.): *C. R. Acad. Sci. U. R. S. S.* LI, 139. 1946.
7. RATINSKI (V. M.): *C. R. Acad. Sci. U. R. S. S.* XLIX, 119. 1945.

**ESTUDIO DE LOS CRIADEROS
DE LA REGION SE. DE EL SOLDADO
PARA INVESTIGAR LA PROBABLE CONTINUIDAD
DE ESA IMPORTANTE ZONA MINERA**

POR

**A. CARBONELL T.-F.
INGENIERO DE MINAS**

2

**ESTUDIO
DE LOS CRIADEROS DE LA REGION SE. DE EL
SOLDADO, PARA INVESTIGAR LA PROBABLE
CONTINUIDAD DE ESA IMPORTANTE ZONA
MINERA**

La zona de yacimientos de galena más importante de la provincia de Córdoba es la situada al Sur de los pueblos de Alcaracejos y Villanueva del Duque, y como en ella el grupo productor por excelencia ha sido y es el de «El Soldado», conócese como zona o región minera de El Soldado la que allí radica.

El lugar geológico está definido por el contacto de la gran mancha granítica de Los Pedroches y la serie interminable de las pizarras metamórficas y azoicas que se extienden al mediodía; pizarras gris azuladas o gris verdosas con manchas pardo rojizas y vetas de cuarzo, interestratificadas unas, cruzantes otras; pizarras levantadas a veces hasta la vertical, rotas por litoclasas innúmeras, que hay que incluirlas en el Carbonífero.

La serie estratificada, a distancias que llegan a tres kilómetros en dirección normal al contacto con la mancha hipogénica principal, aparece a veces rota por otros asomos menores de esta misma naturaleza, granitos, granulitas, euritas, aplitas y pórfidos silíceos, que produjeron en

sus cercanías fenómenos de metamorfismo, similares a los observados adyacentes al contacto principal del granito y la pizarra del Valle.

Esas aureolas de metamorfismo aparecen dispuestas en fajas u orlas sucesivas; fueron estudiadas y descritas por Macpherson, y en ellas los fenómenos del metamorfismo de contacto se aunan a los del dinamometamorfismo, y a los del endomorfismo en la línea de separación de los conjuntos exógenos y endógenos.

En términos generales puede decirse que el metamorfismo dinámico afecta a toda la serie de las pizarras del Sur del Valle, participantes de los intensos fenómenos tectónicos allí acaecidos. Dentro de la fisionomía peculiar que imprimieron esos trastornos, de la silificación y orientación de los materiales clásticos, de la oxidación y meteorización superficial, han venido a sumarse a ellos los efectos que dimanaron hacia las zonas periféricas a la masa magmática del granito de Los Pedroches, y que por tratarse de una acción igual sobre una masa uniforme dieron lugar a que dichas acciones tuvieran manifestaciones semejantes a distancias iguales del contacto.

Las aureolas principales son allí la de las pizarras chiastolíticas, extensa y amplia, y la de las pizarras micáceas, reducida todo lo más a unos 500 metros de anchura. Hacia el límite de ambas, y prolongándose por las pizarras chiastolíticas en relación con una serie de apófisis hipogénicas meridionales al contacto principal, que en su conjunto parece disponerse paralelamente al mismo, encajan los yacimientos filonianos de la región de El Soldado.

La mancha granítica de Los Pedroches penetra en la provincia de Córdoba por el Norte; en el puente del ferrocarril de Bélmez a Almorchón, sobre el río Zújar, tenemos

el comienzo de su contacto meridional, el cual sigue al Sur de Hinojosa del Duque, queda al Oeste de Fuente la Lancha, y combándose al mediodía de Villanueva del Duque y Alcaracejos, prosigue por los solitarios parajes de las cuencas del Cuzna, del Gato, del Varas y del Matapuercas, alcanza el término de Montoro hacia los altos de la Venta del Puerto, y por Garci-Gómez, La Chaparrera y Navalámoheda llega al profundo cauce del río de las Yeguas, límite de Córdoba con la provincia de Jaén.

En todo ese recorrido, de unos 115 kilómetros de longitud, van quedando al Sur, encajados en las pizarras metamórficas, una serie de yacimientos de plomo, como los de las Alcantarillas, los Almadenes y la Bética, en el término de Hinojosa del Duque; los del grupo de Alcaracejos y Villanueva del Duque, los del Canadá y Almadenes, al SO. de Pozoblanco, y los de San Francisco, en Montoro. Yacimientos que fueron o son objeto de un laboreo intenso con eficaz resultado.

Desde el grupo de los Almadenes, al SE. de Alcaracejos, al de San Francisco, al Norte de Montoro, media una distancia de 65 kilómetros, que han de recorrerse por una zona geológica genética de tales características, y de la que poseemos aquellos antecedentes; zona sin embargo casi inexplorada, casi desconocida desde el punto de vista de sus yacimientos minerales por la falta de vías de comunicación y por lo agreste de sus soledades, que va a ser objeto del presente estudio.

BASES PARA LAS DEDUCCIONES

Los elementos a nuestro alcance para poder juzgar acerca del problema a cuya solución vamos a dedicar nuestro interés son de tres clases:

- 1.º Antecedentes que nos suministran los yacimientos explotados.
- 2.º Valores geológicos que nos permiten considerar los yacimientos inexplorados como equigenéticos de aquellos otros ya conocidos en la región.
- 3.º Indicios superficiales, observados en el terreno, que determinan el emplazamiento de los nuevos criaderos.

Antecedentes que nos suministran los yacimientos explotados

Las minas más importantes que se han explotado en el grupo de Alcaracejos-Villanueva del Duque, las que por tanto nos ofrecen casos en verdad típicos, son las del grupo de «Terreras» y las del grupo de «El Soldado»; su laboreo nos proporciona los siguientes datos:

Mina «Terreras»

a) El yacimiento de la mina «Terreras» es filoniano. Se trata de un criadero de galena; la blenda, aunque en algunos sitios llega a presentar metalizaciones importan-

tes, siempre se ha considerado como un producto secundario en el laboreo. Es notable la regularidad del criadero, que corre al N. 50° E., presentando una combadura hacia el Norte, al Este de la falla del pozo «Arellano»; accidente muy interesante por la regularidad manifiesta en todas las plantas donde se pasó. La principal columna rica, donde ese pozo está abierto, es sensiblemente vertical; pero por bajo de los 275 m. está limitada al Este por la falla anotada, que baja desde la superficie buzando unos 75° al SO., haciendo dar al filón un salto al Sur. Otras metalizaciones se han encontrado desde la planta citada a la superficie, al Este de la falla y a ese rumbo; en el pozo auxiliar n.º 8, con inclinación al SO. de unos 45°, y las de las minas «Los Ingleses» y «Guido». De todos modos, por lo visto hasta ahora, esas metalizaciones de árboles secundarios han quedado colgadas a unos 160 m. con relación al nivel del pozo «Arellano».

El buzamiento es muy regular; por cada 40 m. de profundidad de las plantas, 30 m. al SE.; o sea unos 55° con la vertical. Es, y se ha dicho, un filón de libro. La potencia del criadero es igualmente muy regular, varía de 90 cm. a un metro, y éste queda perfectamente definido. Las salbandas en general están marcadas limpiamente; los lisos, muy definidos, particularmente el pendiente, eran sumamente resistentes, lo que hacía innecesario el relleno y fácil la explotación, que requería escasa cantidad de madera. Sólo se rellenaban algunos anchurones, para evitar el tener que subir al exterior las tierras de las labores practicadas en estéril. Hasta la misma zona de la falla era resistente, y si se revestía el paso por ella de portadas y agujas, éstas no había que renovarlas en mucho tiempo, pues el terreno no empujaba.

b) Constituyen el relleno del filón el cuarzo, detritus

de la pizarra, alguna caliza, óxidos y carbonato de hierro, piritas de cobre bastante ricas y blenda argentífera, en algún punto con abundancia. Con ellos venía la galena, generalmente de hoja y con unos 900 gramos de plata en tonelada, por término medio. El yacimiento se encuentra reconocido en unos tres kilómetros, que comprenden las demarcaciones «Terreras», «Los Ingleses» y «Guido», encontrándose en forma igual siempre.

Además de los elementos dichos, en el relleno entra el pórfido, que queda dentro de la caja del criadero y, principalmente, se observa al Oeste del pozo «Arellano». Al Este del mismo sigue la grieta, pero falta esa apófisis hipogénica. Al parecer con la falta del pórfido coincide la ausencia de metalización; pero ya en profundidad, en las plantas 15 y 14, seguía el pórfido y faltaba el mineral cuando aquél rellenaba la caja. De dicho mineral, a esas profundidades, no se vieron ni aun pintas. Este pórfido es blanquecino amarillento; en algunas zonas de bondad, especialmente por 9.^a y 10, está muy descompuesto; coincidiendo esta circunstancia con la abundancia mayor de mineral. El cuarzo blanco rellena, al parecer, el centro del filón, habiéndose visto en esas zonas grandes geodas tapizadas de cristales de galena; la calcita es escasa y falta la barita. Los pintos de pirita de cobre llegaron hasta la planta 10, pero fueron más abundantes en la región superficial, siempre en las inmediaciones del pozo «Arellano». La pirita de hierro fué también abundante, principalmente en la zona alta del filón, lo que perjudicó la separación de las blendas en el lavado.

La galena presentó metalizaciones extraordinarias de 4.^a planta a la superficie, tanto al Oeste como al Este del pozo «Arellano»; después la blenda abundó hasta 7.^a, y las metalizaciones esterilizaron al Este del citado pozo. Con

frecuencia se presentaba el filón fajeado, apareciendo dos vetas diferenciadas de ambas sustancias. No obstante la abundancia de la galena en la mina, en la planta 3.^a se dejaron algunas zonas por no contener plomo; y en los años de 1910-11 se hace en ellas una nueva explotación por blenda, viéndose allí que a continuación de la metalización de una sustancia aparece la otra.

Desde la planta 8.^a, para abajo, de nuevo domina la galena, y la blenda tiene sólo una importancia secundaria; aquélla alcanza en las metalizaciones su verdadera importancia hacia 9.^a, y sigue hasta la planta 11. Disminuye la blenda con la profundidad, pero no de una manera gradual; así en la planta 11 hay más que en la 9.^a, y el plomo sigue manchado de ella hasta la 12, donde disminuye la importancia de la metalización y el árbol principal de ésta se divide en otros dos. En la planta 13 queda reducida la columna metalizada a una corrida, tercera parte de la apreciada en 12; en 14 ya no hay metalización, ni en 15, pero el filón sigue bien marcado y definido, tanto al Este como al Oeste y en profundidad; el piso 15 no tiene ningún mineral. Siempre al Oeste, en todos los pisos, sigue el pórfido, y a ese rumbo no se hizo ningún reconocimiento en las concesiones. La blenda, fajeada y alternante con la galena, generalmente se presenta a un lado de la roca hipogénica.

La roca de caja siempre es la pizarra azulada gris, con manchas pardo rojizas, corre normal al filón, no habiéndose visto vetas de cuarzo transversales interestratificadas.

c) La ley media de las galenas que se preparaban para la venta era:

Primeras ... 81 % Pb, 1.800 g. Ag en T.
Segundos... 55 % Pb, 1.300 g. Ag en T.

Las blendas, en un principio, se arrojaban al vaciadero, y sólo se comenzaron a tratar ya muy adelantada la explotación. Las clases preparadas dan del 36 al 37 % Zn y 280 a 300 g. Ag en T., con mucha pirita de hierro. La mina se considera agotada y reconocida en este sentido.

Un crucero en 8.^a planta, al SE., de 664 m., entre las minas «Demetrio» y «Terreras», no cortó nada. En aquella mina se trazó otro de unos 300 m., y como la distancia entre ambas es de unos 1.300 m. quedan por reconocer 300 m., donde se hubieran cortado los filones de la mina «Guillermito» y el filón 2.^o, llamado N. de «Demetrio», muy interesantes todos ellos, tanto por la zona de referencia como por los afloramientos que ofrecen. La metalización media puede estimarse en esta explotación en unos 500 kilos por metro cuadrado, siendo muy difícil apreciar la proporción en cada caso de la galena y la blenda. En 3.^a llegó ésta a medir 15 y 20 cm., y donde ha predominado la blenda llegó a representar 400 kilos por metro cuadrado de arranque.

Como se ha dicho antes, siempre ha predominado la blenda al Oeste del pozo «Arellano» y en sus cercanías, en los mismos lugares donde era más abundante la pirita de hierro.

La cantidad de agua que dió la mina fué de unos 600 m.³ en las 24 horas.

Las producciones de esta mina fueron las siguientes, desde el año 1897 al 1922:

40.380.000 Kg. primeras Pb.
26.391.312 Kg. segundas Pb.

En cuanto a las producciones de blenda, fueron, en ese tiempo, 3.438.355 kilos.

Mina «Los Ingleses»

Se encuentra situada en el término municipal de Villanueva del Duque. Su filón es la prolongación del de «Terreras», en lo que no hay duda por estar comunicadas sus labores con las de esa mina en la quinta planta de «Terreras», a 132 m. de la superficie. En realidad, en esta mina, se trató de reconocer el filón de «Terreras» en su prolongación, y habiéndose cortado una metalización escasa, pero con más plomo que blenda, esto fué causa de las paradas alternativas de la mina según el precio del mercado. Los trabajos antiguos no se han cortado por la labor de los realces, pero existen algunos, aunque desde luego, y en vista de lo anterior, puede decirse que son someros.

a) El criadero es de galena argentífera y menos blendoso que su continuación en «Guido», mina de que ahora nos ocuparemos. Corre N. 40° E. (verdadero), buza al SE. uno 78°, y la columna rica aparece vertical. La potencia es de 50 a 60 cm., bastante regular, y salta unos dos metros a causa de una falla situada al Este del pozo y arrumbada al Norte 20° Este.

b) El relleno lo formaban la pizarra, arcillas gris amarillentas y azuladas, algún pórfido blanco, amarillento, duro, y el cuarzo, siendo escasa la calcita. El mineral viene en vetas, generalmente en el centro, otras a ambos lados del pórfido, a veces en una sola, como pega o junta de éste con la pizarra. Las metalizaciones de galena fueron de 200 a 240 kilos por metro cuadrado. La blenda también se presenta en vetas, sin orden, en realidad como un producto secundario; el cual, al lavar el plomo, fué arrojado al vacie, y después se obtuvo de la lava de éste.

Las rocas de la caja son las pizarras que aparecen casi normales al filón. El pórfido sólo se ve en el relleno de la grieta. La formación geológica de la serie estratificada se ha clasificado como carbonífera; el granito queda a unos 600 m. al Norte.

c) Toda la producción se ha sacado de su pozo, y la blenda, del lavado de la escombrera, como queda dicho. La ley de las menas fué de un 60 % Pb, con 1.200 g. Ag en tonelada, y para las blendas del 35 al 38 % Zn y unos 350 g. Ag en tonelada. No queda ningún mineral reconocido; en cuanto al probable hay que decir que la metalización en las plantas altas sigue igual a la última explotada, a 132 m. de hondura. Por esta razón, y dada la corrida útil de 140 m. de la columna explotada, se pueden reconocer nuevas cantidades de mineral en esta mina, de pobres metalizaciones, y más aún si recordamos que el yacimiento es la prolongación del de «Terreras». Con estos antecedentes, por cada metro que dicha metalización profundice puede contarse con 28 toneladas de galena y dos toneladas de blenda, pero como no hay ningún reconocimiento en profundidad no puede concretarse nada sobre este punto.

Las producciones que dió esta mina fueron las siguientes:

Producción de galena, 1.688.222 kilos.

Producción de blenda, 217.465 kilos.

Mina «Guido»

El interés que ofrecía la investigación de esta mina, situada en el término municipal de Villanueva del Duque, era buscar la prolongación Este del filón de «Terreras» y

de los «Ingleses», lo que, a pesar de los trabajos llevados a efecto, no ha llegado a dilucidarse por completo.

a) El filón es de galena y blenda, pobre en plata; corre al N. 25° E. (verdadero), vertical, algo combado al Norte en la cabeza, hasta la primera planta, a los 42,50 m. de profundidad; después sigue vertical hasta los 170 m., última profundidad reconocida. La potencia media es de unos 50 cm., y en general es bastante constante.

b) El relleno principal es el cuarzo y la pizarra arcillosa blanda. La galena y la blenda en general se presentan separadas en la corrida, y a continuación a veces. La blenda es mucho más abundante que la galena; en segunda planta se han encontrado pequeñas columnas de blenda hasta de 25 centímetros de anchura. En esa planta hay unos 120 metros de corrida útil.

La roca de caja es la pizarra, en la que se hacen hasta 1,40 y 1,50 m. al día de avance con las máquinas barreneras, pero en los realces el terreno es algo flojo, precisando entibar y reforzar a veces. Esta pizarra es gris azulada, con manchas pardo rojizas, y presenta finos cristales de chistolita.

La cantidad de agua que da la mina, a 170 m. de profundidad, varía de 1.200 a 1.400 m.³ en las 24 horas.

No convencidos de que el filón que se llevaba en las galerías fuera el de «Terreras», se abrieron traviesas para buscarlo, sin resultado. Las últimas labores seguidas sobre ese filón quedan a unos 500 m. al Oeste.

c) La ley de las blendas es del 38 al 40 % Zn y 350 a 400 gramos Ag en T., casi sin plomo. Las galenas dan del 66 al 68 % Pb y 1.100 a 1.200 g. Ag en T., es decir, son muy análogas a las de «Terreras». Las exploraciones realizadas no dieron resultados claros hasta el día. En profundidad desaparece la galena y disminuye en gran parte la blenda.

La metalización es de 10 cm. de blenda por 60 m. de altura entre primera y segunda planta, por 110 m. de longitud de la columna, o sean 6.600 m.², por 300 kilos de blenda por metro cuadrado; son 1.980 toneladas de blenda preparada para el arranque. De la planta primera a la superficie y de segunda para abajo, los macizos respetados no son explotables. Entre primera y segunda, aunque existe galena, se considera que ésta no es explotable; un realce hecho al Oeste del pozo, en segunda, a unos 50 m. al Oeste, fué preciso pararlo, por disminuir la galena y quedar reducida a una vetilla insignificante.

La cantidad de galena que queda puede estimarse en un 10 % de la blenda cubicada.

Las producciones fueron las siguientes:

199.556 Kg. de galena y 408.706 Kg. de blenda.

Mina «Claudio»

La mina «Claudio» se encuentra en el término de Alcaracejos, y en las inmediaciones de las minas antes consignadas, cerca del grupo minero conocido por «El Soldado» o de Villanueva del Duque.

a) El criadero es de galena y blenda. La dirección es N. 45° E., vertical; buza ligeramente al Norte. La columna rica aparece inclinada al Este, pero en la región oriental es vertical, es decir, tiene manifiesta tendencia a acuñar. La potencia del filón es variable, de 50 cm. a 3 m.; puede estimarse en dos metros la potencia media.

b) El relleno del filón lo forman la pizarra negra azulada, muy lajosa, arcillosa y blanda, como la de los hastiales, la calcita y el cuarzo, galena, blenda, pintos de pirita de cobre y es muy escasa la pirita de hierro. Además se

ven elementos de una especie de pórfido de tonalidad cérea.

La roca de caja es la pizarra, vertical y normal al filón, con algunas vetas de cuarzo interestratificadas, y tanto al Este como al Oeste parece que el yacimiento cierra. En realidad los lisos de éste están mal definidos, son flojos y alterados. La blenda parece aumentar en profundidad, lo que se demuestra por los antecedentes estadísticos. En la producción de un día, de 210 toneladas, la ley de las tierras era el 10 % Pb y el 5 % Zn. El aspecto de esta mina parece indicar que el dispositivo genético debió ser: primero, un depósito blendoso; después, otro blendoso plumboso, y, finalmente, uno plumboso.

c) La metalización media es de unos siete centímetros de galena y blenda. Esta última sustancia comienza a contarse como mineral aprovechable del nivel 220 para abajo, adonde va en aumento; la cubicación del mineral de plomo preparado para el arranque es la siguiente:

19.085 m.² superficie explotable y 16.984 T. preparadas.

La ley para estos minerales de plomo se estima en un 70 % Pb y 250 g. Ag en tonelada. La cantidad de blenda disponible es un 19 % de la galena, o sean 1.700 toneladas.

Grupo minero de «El Soldado»

Estimábase que el mineral preparado para el arranque en el grupo minero «El Soldado» se elevaba, a final del año 1924, a las cifras siguientes:

Galena....	106.000 toneladas.
Blenda....	23.000 —

incluyéndose en ellas las correspondientes a los macizos preparados en la mina «Claudio», que, explotada por la misma entidad, se consideran como del grupo minero.

Esa importante porción de blenda se encuentra, en parte, en esta mina «Claudio», como se manifestó, y, principalmente, en las que en realidad forman la agrupación de «El Soldado»; pero en las últimas no distribuída de una manera proporcional en los yacimientos que son objeto de explotación, sino ya como elemento secundario y de escasa importancia en alguno de ellos, como en la región Este del filón «Luisa», donde una veta de hasta cinco centímetros se dejó en el hastial, al explotar esta mina sólo por galena, ya en el llamado filón «Intermediario», que realmente es un criadero de plomo y cinc.

No entraremos en detalles, que nos apartarían del objetivo principal del estudio que seguimos, y procederemos en consecuencia a facilitar los antecedentes por lo que afecta a la disposición y producción del grupo «El Soldado».

Mina «Pepita Norte»

El filón principal está terminado en su explotación, y el pozo por el que se llevaron a cabo sus labores se está utilizando para la explotación del filón «Intermediario». En él hay instalado un torno eléctrico para elevar 1.000 kilos a 400 metros de profundidad, provisto de un motor «Brown Boveri».

Mina «Luisa»

En esta mina, la más importante del grupo de Villanueva del Duque, se explotan dos filones, conocidos con los nombres de filón «Luisa» y filón «Argentífero».

FILÓN «LUISA».—Está limitado por dos fallas, al Este y al Oeste. Lo notable de la falla Este es que estaba metalizada en parte. En realidad no hay allí verdaderas fallas; damos este nombre siguiendo el léxico usual en la localidad y en la zona, y se le dió el nombre de filón «Transversal», explotándose algunos realces en los niveles 90 y 60; este filón «Transversal» hacía saltar a la parte Sur al filón «Luisa», tomando entonces el nombre de filón «Pepita Sur», pero este salto fué desapareciendo en profundidad porque el filón «Transversal» fué terminando en cuña, resultando que en el nivel 240 y en el 280 se redujo a una pequeña inflexión; en los niveles inferiores sólo se observa un pequeño trastorno, y resultan uno en prolongación del otro, y queda con el nombre de filón «Luisa», terminado en una falla al Este.

El filón «Pepita Sur» se explotó con tal denominación hasta el nivel 200; en los niveles 60, 90 y 130 llegó el filón a internarse en la mancha de granito que existe dentro de las pizarras.

El filón «Luisa», hasta el nivel 200, tuvo una corrida de 250 metros, pero al desaparecer el salto y unirse al de «Pepita Sur», tiene una longitud de 500 metros. Tanto en uno como en otro filón se encontraron trabajos antiguos hasta una profundidad de 35 metros.

a) La dirección es N. 55° E., con una inclinación de

70° y buzamiento Sur. Tiene una caja de mina muy irregular, a veces con tres y cuatro metros de anchura, y otras con 1,50 y 1 m.; con esa irregularidad se presenta también la metalización, que varía de dos y tres centímetros de potencia reducida de galena a 50 y 60 cm., pero por término medio se la calcula en unos 12 cm. de P. R. (potencia reducida) media. La explotación es con relleno.

b) El relleno de la caja lo forman el cuarzo, calcita, pórfido y pizarra, esto como ganga, como mena, galena y algunos pintos de piritas de cobre y de hierro.

Hasta el nivel 360 no apareció la blenda, siguiendo ésta en profundidad, pero donde más se observa es en la parte Este del filón.

La pizarra del relleno es de la misma naturaleza que la de los hastiales, que es pizarra, cuya estratificación es normal a la fractura filoniana.

c) En los niveles 200 y 240 se han hecho, a la parte Sur, cruceros de reconocimiento, teniendo dichos cruceros 200 y 250 m., respectivamente, sin cortar nada notable.

En el 280 se hizo un crucero a Sur, al cortar el filón Norte del pozo Oeste.

También hay hechos cruceros de reconocimiento al Norte y en el extremo Este del filón «Luisa»; en los niveles 200, 280, 360 y 440, que ponen en comunicación los pozos «Luisa» y «Pepita Norte». En la actualidad las únicas comunicaciones que existen son las dos últimas.

Los cruceros de los niveles 200 y 280 se hicieron desde el filón «Pepita Norte», los del 360 y 440 desde el filón «Intermediario». Ni unos ni otros cortaron nada de particular.

ENSAYO DE UNA MUESTRA DE TIERRAS DEL FILÓN «LUISA»

Cantidad de plomo contenido en las tierras..	12 %
— plata por tonelada de Pb.....	0,350 Kg.
— Zn contenido en las tierras	2,5 %

MINERAL RECONOCIDO

Niveles	Metros cuadrados	Toneladas de mineral vendible
320	530	265
360	10.330	12.135
400	17.665	16.260
440	15.200	12.750
Total....	43.725	41.410

d) Las concesiones mineras que comprende esta región del grupo minero son: «Luisa», «San Guillermo», «Demasia a Luisa», «San Jorge». Pertenecen a la Sociedad Minera y Metalúrgica de Peñarroya, domiciliada en París.

FILÓN «ARGENTÍFERO».—Se encuentra situado al extremo Oeste del filón «Luisa», y separado de él por una gran falla hasta el nivel 280; esta falla fué desplazándose, y en el nivel 360 se confunde con el filón en una longitud de 22 m., desviando el filón de su inclinación normal, llegando esta inclinación a 35 grados. Esta inclinación del filón va desapareciendo en altura, y vuelve a tomar su inclinación normal de 70°, y la falla se separa en dirección Norte.

Este trastorno hace que en este nivel aparezcan el filón «Luisa» y el «Argentífero» en prolongación.

La caja está rellena en este trastorno de pizarra blanda, pórfido y galena.

En los niveles 400 y 440 continúan los filones en prolongación; únicamente se observa un poco de inflexión, y,

en unos tres o cuatro metros, trastornada la caja en la parte del contacto.

Este filón se llama «Argentífero» por tener más cantidad de plata que el de «Luisa»; así se observa que los trabajos antiguos llegaron en este filón a 160 m. de profundidad, mientras que en el de «Luisa» y «Pepita Sur» sólo llegaron a unos 35 metros.

La cantidad de plata, que fué de dos, tres y hasta cuatro kilos por tonelada en la parte del contacto con los trabajos antiguos, va disminuyendo en profundidad; en la actualidad tiene de 0,500 a 0,700 kilos por tonelada.

a) La dirección, inclinación y buzamiento son idénticas a las del filón «Luisa». La longitud media es de 115 metros, presentando una potencia muy regular de metros 0,80 a 1,00 de anchura.

b) La caja está rellena de pórfido, cuarzo, calcita y galena. La roca que más abunda es el pórfido, que suele ir en dos vetas una en el techo y otra en el muro; la parte metalizada va en el centro, siendo su potencia reducida media de 20 a 25 cm. de galena muy limpia; a veces llega la metalización a 50 y 60 centímetros.

c) En este filón, y en su parte Oeste, se hizo en el nivel 200, y en dirección Sur, un crucero de 50 m., sin resultado alguno.

En el nivel 360, y siguiendo la dirección del filón, se atravesó la falla Oeste y se han hecho 50 m. de galería de dirección; en el extremo Oeste de esta galería se está haciendo actualmente un crucero en dirección Sur, normal a la galería. Tiene éste 90 m. y se seguirá hasta llegar a la vertical del filón «Enriqueta»; o sea unos 60 m. más de crucero a practicar.

ENSAYO DE UNA MUESTRA DE TIERRA DEL FILON
«ARGENTIFERO»

Cantidad de Pb en las tierras..... 14 %
— de Ag por tonelada de Pb 0,700 Kg.
No contiene nada de Zn.

MINERAL RECONOCIDO

Niveles	Metros cuadrados	Toneladas de mineral vendible
320	120	180
360	4.570	5.140
Total....	4.690	5.320

En los niveles 400 y 440 está incluido en el filón «Luisa».

d) Está situado en la mina «San Guillermo».

FILÓN «INTERMEDIARIO».—En este grupo de «El Soldado» realmente el filón blendoso que existe y que como tal puede ser considerado, es el designado por su situación topográfica con el nombre de filón «Intermediario», situado al Sur del pozo «Pepita Norte» y entre los filones llamados en el grupo «Pepita Norte» y «Pepita Sur».

a) Se trata de un yacimiento de galena y blenda, cuya dirección media es N. 41° E. Respecto a su inclinación, el criadero es vertical desde la superficie hasta el nivel 200, y desde éste toma un buzamiento al Norte de 82°. La potencia de la caja se ha estimado en unos 60 cm., siendo su composición bastante complicada, pues existen galenas, blendas, piritas de cobre y algo de pirita de hierro, pero siendo sus metalizaciones dominantes las de galena y blenda, pudiendo decirse que en un principio se estimaba en una proporción de uno de galena por tres de blenda, que después vinieron a igualarse y más tarde a invertir su

relación. La potencia reducida se estima en la actualidad en unos cuatro centímetros de galena y cuatro centímetros de blenda.

b) La naturaleza del relleno es en un todo similar a la de los yacimientos de este distrito; con la pizarra azulada y los minerales principales y accesorios señalados en el párrafo anterior, se presentan la calcita y, principalmente, el cuarzo, que, a su vez, en parte lo ha modificado en ciertos lugares, endureciendo las rocas de los hastiales. Estos, con frecuencia no están definidos, siendo persistentes en ellos las arcillas rojizas, que dan una idea, sobre todo en las zonas más altas, del dispositivo de las salbandas. El ancho medio, ya indicado, de 60 cm. para la caja de mina, se reduce en muchos lugares a 30 centímetros.

Las rocas de caja son las pizarras gris azuladas, con manchas pardo rojizas, principalmente en la región superficial. Con frecuencia vienen atravesadas por vetillas de cuarzo blanco lechoso; que ya pasan entre las litoclasas, ya con más frecuencia se ofrecen interestratificadas. Esta pizarra se presenta en la zona de las inmediaciones del contacto del Carbonífero con el granito, que pasa por los próximos pueblos de Villanueva del Duque y Alcaracejos, con numerosos cristales de chiastolita, zona de la aureola de dicho contacto, estudiada por el Sr. Macpherson en primer lugar.

c) Labores de reconocimiento, no se hace ninguna en el momento. En el nivel 280 la galería Este está parada en estéril, y el mineral en ella reconocido en los últimos trabajos era de una metalización media de cinco centímetros de galena y tres centímetros de blenda en unos 69 m. de longitud; en tanto que en la zona del Oeste, a los 111 m., sube una chimenea que alcanza 25 m., con metalización

media de un centímetro de galena y siete centímetros de blenda. En el nivel 360, al Este, se han llevado metalizaciones de cinco centímetros de galena y tres centímetros de blenda; por el contrario, en la región Oeste de esta planta, las zonas inexplotables alternan con otras de metalización sumamente irregular, donde se ha llegado a medir hasta 12 cm. de ambas sustancias, que se presentan muy mezcladas. En totalidad se ha considerado por el ingeniero Sr. Espina, que existe aquí una zona explotable de 500 m. de longitud por 500 de profundidad, al menos.

Las leyes de las menas, en lo que precede, fueron consignadas. Un promedio es el del 40 % Zn para las blendas y 65 % Pb para las galenas. La ley de las tierras en blenda y galena es de un 10 % para cada una de estas sustancias.

El mineral reconocido hasta el nivel de 440, que es la mayor profundidad, asciende a 77.480 m.³, que reducidos a toneladas de mineral aprovechable hacen un total de 33.635 toneladas de blenda y galena en conjunto. Además existe una cantidad de tierras arrancadas que se estima en 7.290 toneladas, las que se hallan entre los niveles 75 y 200, sirviendo de relleno provisional al hueco del filón explotado; lo que se debe a que en un principio no se extraían, por no disponer de elementos para el beneficio de las blendas en el lavadero. En total se puede estimar que el mineral hoy disponible en esas condiciones se eleva a 35.000 toneladas, de ellas 17.000 de galena y 18.000 de blenda.

El mineral probable bajo el nivel 440 m. es difícil de prever. En realidad, en la región, para poder juzgar, sólo disponemos de los antecedentes de «Terreras», y de los suministrados por los trabajos de estas minas; mas creemos que puede contarse con una planta más explotable, lo que

representa en probabilidades 10.000 toneladas de mineral; 5.000 toneladas de galena y 5.000 toneladas de blenda.

Las cubicaciones de conjunto, consignadas en lo que precede, son de aplicación para relacionarlas con las que se consignan en este caso.

d) Las concesiones mineras que comprende este yacimiento son:

«Pepita», n.º 2.446.

«Enriqueta 2.ª», n.º 2.775.

«Triunfo», n.º 870.

«2.ª Demasía a Precaución», n.º 3.532.

«Demasía a Enriqueta 2.ª», n.º 3.754.

Todas ellas pertenecen a la Sociedad Minera y Metalúrgica de Peñarroya.

Grupo «Canadá»

El grupo minero «El Canadá» se halla en la misma disposición genética que el de Alcaracejos-Villanueva del Duque, esto es, en las inmediaciones del contacto del granito y la pizarra, al Este y a unos cinco kilómetros del centro de aquel importante coto plumífero.

Sobre él sólo se han realizado en nuestros tiempos reducidas labores de exploración, que pueden resumirse así:

Existen allá tres alineaciones] de trabajos antiguos, en los cuales se hallan restos de minerales de cobre y algunas escorias de fundición muy antigua. La alineación central se reconoció por un pozo maestro y las otras dos por chimeneas. La alineación del Oeste dista 200 m. de la central y la del Este 400 m. de ella.

La dirección de esas alineaciones, que definen el paso de otros tantos yacimientos filonianos, es de N. 32° E.

verdadero. Las dos calderillas trazadas sobre las alineaciones extremas del grupo llegaron a los 20 m. de hondura, sin salir de los rellenos antiguos. El pozo central alcanzó una profundidad de 67 m., y dió una cantidad de agua de unos 17 m.³ en las 24 horas.

Sobre esa alineación central se efectuaron las siguientes labores:

Una calderilla a los 39 m. al NE.; cortó antiguos a los 35 m., que siguieron hasta los 45 m. y en el nivel 40 m. se descubrió una labor de esa antigua explotación, con 30 m. de longitud y pintas de plomo y cobre en el cielo de la galería; otra calderilla, a los 40 metros SO.; bajó hasta los 21,60 m., en que cortó una falla sobre la que se abrieron 5,30 metros de crucero al Norte, sin resultado. En el nivel 60 m. del pozo maestro se hicieron sobre el filón 70,50 m. de galería, al NE., con el siguiente resultado: estéril hasta los 14 m., mineral hasta los 26 m. con seis centímetros, y máxima de 20 cm. de chalcosina y cobre abigarrado, a los 26 m. antiguos hasta los 45 y después estéril. Al Oeste del pozo maestro se hicieron en ese nivel 46,30 cm. de galería en estéril.

El grupo se halla en el paraje conocido por Toril de Casilla Blanca. Dista seis kilómetros de la estación de Alcaracejos-Villanueva del Duque, en la línea férrea de Peñarroya a Conquista.

Además de las labores antiguas anotadas, existen otras cortas y depresiones en la superficie que permiten afirmar que, a más de las tres alineaciones filonianas, sobre las cuales se realizaron los reducidos reconocimientos anotados, hay al menos otras dos.

Grupo de Los Almadenes

Llamado también del Chaparro Barrenado, por radicar, al Sur del anterior, en el paraje de ese nombre. Se encuentra en el límite de los términos municipales de Alcaracejos y Añora, quedando al SE. de El Soldado y a unos 10 kilómetros de distancia del mismo.

Es muy interesante, por lo tanto, para nuestro objeto, tener a la vista un resumen de los trabajos llevados a cabo en este coto, ya que se halla en plena zona de la sometida a nuestra consideración.

Los elementos de juicio vamos a resumirlos según la pauta de las Instrucciones de la Superioridad para el Estudio y Catalogación de Yacimientos de los Distritos Mineros, dadas en 15 de noviembre de 1922.

a) CLASIFICACIÓN DEL CRIADERO, CON EXPRESIÓN DE LA DIRECCIÓN, INCLINACIÓN, BUZAMIENTO Y POTENCIA DEL MISMO.— Se trata de criaderos de carácter filoniano, como todos los de la zona, encajados en las pizarras y sospechados por la serie de labores antiguas que, en el lugar llamado Almadenes Hondos, del término municipal de Alcaracejos, en las inmediaciones del de Añora, se disponen en unos 500 m. de longitud, definiendo dos alineaciones paralelas. A más de ellas, más al Este, se encuentra, a unos 750 m., otra labor, acaso en relación con otro criadero similar a los anteriores, que no fué reconocido en los tiempos actuales.

Se ha estimado que tales labores antiguas ocupan una extensión de unas 10 hectáreas o pertenencias mineras en total; y conocido el aliciente que ellas suponen en el laboreo minero, no es extraño que fueran la causa determinan-

te de la explotación del grupo Almadenes. En sus inmediaciones, en el cruce del arroyo de Almadenes y de la senda del Muzgaño, se ven en el corte escorias muy antiguas, procedentes de una antigua fundición allá establecida en los remotos tiempos romanos.

Aunque por tales razones no cabía duda de que las labores antiguas habrían bajado bastante en este criadero, no se creyó que rebasarían del nivel 100 metros del pozo maestro; mas con la transversal trazada en éste desde los 130 m., se observó que a esa hondura aquellos trabajos antiguos proseguían en extensión respetable.

El filón se arrumba al N. 30° E. verdadero, pero experimentando combaduras sucesivas, que en totalidad, y según se desprende del examen del plano de las galerías abiertas en esta explotación, se traducen en una traza con tendencia a seguir una ley sinusoidal.

Tal dispositivo parece afectado por los dos yacimientos paralelos del grupo Almadenes, señalados en la superficie, como queda indicado por las labores antiguas y comprobada su existencia en profundidad por las labores de reconocimiento y explotación llevadas a cabo en los últimos tiempos.

La inclinación entre la primera y la tercera planta del buzamiento es de unos 70°, dentro de la caja del filón. No se apercibe, como consecuencia de las observaciones realizadas hasta el momento, tendencia concreta al acunamiento.

La potencia del criadero es variable; la caja llega a alcanzar grandes anchuras, al menos ofrécese borrosa en una zona que obliga, dado lo suelto del terreno y los hundimientos consiguientes, a realizar las guías fuera del filón. Se ha aceptado como potencia media del criadero más explotado la de cuatro metros.

b) NATURALEZA DEL RELLENO, ROCAS DE LA CAJA Y FORMACIÓN GEOLÓGICA A QUE PERTENECE.—El relleno está constituido por cuarzo, calcita y pizarra, sumamente descompuesta y blanda, razón de la inconsistencia del relleno y de entibación esmerada que ha de hacerse. Las menas son la galena y la pirita de cobre, estimándose como metalización media la de 761 kilos de mineral de cobre y 153 de plomo mineral por metro cuadrado.

La ley del mineral lavado es, para el plomo de 45,5 % de Pb, con 2,572 gramos de Ag en T. de mineral preparado, y para el mineral de cobre de 20,5 % Cu. La ley en bruto del mineral, zafras de la mina, es de 6,22 % todo uno. La cantidad de agua que se extraía era de unos 200 m.³ diarios, en régimen normal.

En el macizo situado en el centro de la zona metalizada domina el mineral de plomo; a ambos lados de éste hay árboles o bordes supletorios fundamentalmente cupríferos, viniendo a continuación de ellos la zona estéril, a ambos rumbos. La longitud total de la columna metalizada que se explotó es de unos 100 metros.

La caja está formada por pizarras y areniscas grauvaqueñas alternantes. Esta es una de las razones que determinan la alternancia de zonas blandas y duras en profundidad. Así resultó, que el pozo principal estaba revestido de mampostería los 30 primeros metros, y entibados los 100 metros siguientes. A los 130 metros de hondura entra en una zona consistente que tiene 20 metros de espesor, en los que no fué necesario fortificar el terreno. Sigue a esta zona otra de 50 metros, en que fué precisa la entibación y, después, otra consistente.

Todo esto parece a su vez relacionarse con la variación de las metalizaciones. En el año 1908, a 1.400 toneladas de galena producidas, correspondía una producción

de 600 toneladas de pirita cobriza. En 1909, la producción hasta el 31 de mayo, de ese año, era de 8.000 quintales métricos de cobre con ley de 15,50 % Cu y de 2.800 quintales métricos de galena, con el 46 % de plomo, y 2,440 kilos de plata en tonelada.

La formación geológica ya se ha dicho que es la pizarra y grauvacas del Paleozoico, que se ofrecen al Sur de la mancha granítica de Los Pedroches; la génesis de estos yacimientos hay que buscarla en los hechos que se derivan como última manifestación de los grandes trastornos hercinianos.

c) LABORES DE RECONOCIMIENTO EJECUTADAS, LEYES DE LAS MENAS Y CUBICACIÓN DEL MINERAL RECONOCIDO Y DEL MINERAL PROBABLE.—Las labores de reconocimiento y explotación han sido relativamente numerosas: la principal es el pozo maestro, en el centro del campo extracción, con dimensiones de $5 \times 2,20$ m., y de profundidad 368 metros; además hay otro pozo, llamado «Este», que comunica con la primera planta y, por calderillas, con la quinta, donde se introducían rellenos.

Las plantas fueron siete: a los 130, 210, 250, 300, 330, 360 y 410 metros.

Los trabajos antiguos llegaron a 195 m. de profundidad, y en longitud parecen extenderse en unos 500 metros. Con las plantas trazadas se reconocieron en longitud 550 m. en la planta segunda, que es la de mayor desarrollo; la quinta, con 130 m. de corrida, es la menor de ellas.

Además de estos trabajos se han realizado las transversales y galerías de reconocimiento pertinentes, cuyo detalle omitimos.

La cantidad de agua extraída de la mina fué de unos 200 m.³ diarios.

En 1910 se estimaba que la ley industrial de estos minerales era de 44,50 % Pb y 2.500 gramos de Ag en tonelada para las galenas, y del 19 % Cu para las chalcopiritas. En este año la producción del grupo fué de 2.250 toneladas de mineral en totalidad, de ellas 370 toneladas de mineral de plomo.

La mina no puede considerarse como agotada. Están por explotar los realces de la séptima a sexta planta, sólo alguno de ellos iniciado; y, por otro lado, resulta que el mineral continúa por bajo de séptima, de manera que aun da lugar a insistir de nuevo sobre esta explotación, donde no cabe, por otro lado, negar la posibilidad de la existencia de alguna columna rica en dirección.

El mineral cubicado, como probable, es de unas 2.500 toneladas.

d) CONCESIONES MINERAS QUE COMPRENDE EL YACIMIENTO, CON EXPRESIÓN DE LOS CONCESIONARIOS Y EXPLOTADORES, SI LAS MINAS ESTUVIERAN ARRENDADAS, Y NACIONALIDAD DE LOS MISMOS, SEAN PARTICULARES O COMPAÑÍAS.—Las concesiones mineras que forman este grupo son las tituladas:

- «Almadenes».
- «Almadenes Altos».
- «Almadenes Bajos».
- «Almadenes Orientales».
- «Almadenes Occidentales».
- «Almadenes Cuartos».
- «¿Quién sabe?»

Los concesionarios son la Sociedad Los Almadenes, domiciliada en Bilbao, que en la actualidad tiene parado el grupo.

La zona de El Soldado al río Gato

ENCAJES DE ESTOS YACIMIENTOS Y DISPOSITIVO CON RELACIÓN A LAS SERIES GEOLÓGICAS DE LA ZONA.—Todos los criaderos cuyos antecedentes se anotan en las páginas precedentes se hallan en la serie pizarreña, que se extiende ampliamente al Sur de la mancha granítica del Valle de los Pedroches, y en un espacio que en su mayor dimensión no pasa de 10 kilómetros.

Todos estos criaderos aparecen al Sur del contacto en cuestión, y a distancias del mismo que fluctúan de uno a seis kilómetros; por tanto, con arreglo a este hecho sencillo y escueto, y vistas las consideraciones que en su lugar quedaron expuestas, una primera zona de interés genético, por semejanza con la conocida de Alcaracejos-Villanueva del Duque, estará definida dentro de una orla de 10 kilómetros de anchura que bordee la mancha granítica del Valle de los Pedroches, a partir de su contacto meridional con la pizarra.

Volviendo sobre los datos que nos facilitan los casos conocidos, vemos que al Sur de ese contacto de la mancha granítica del Valle de los Pedroches con la zona pizarreña, tan ampliamente representada, aparecen, acribillando en ciertos lugares a esta última, una serie de apófisis y diques graníticos porfídicos, en los que unas veces se nos muestran variedades de una roca granuda, rojizo asalmonada, por el feldespato color de carne, correspondiente a un tipo holocristalino de granito normal, que se descompone casi siempre, apareciendo como un arenazo rosado; y donde otras veces los porfídicos graníticos, de pasta microlítica, de tonalidades varias, de gran dureza y textura, a veces ofi-

tica o redondeada, son los representantes de esa amplia serie hipogénica que en el mismo contacto muestra materiales extremos, donde la mica ha desaparecido por completo, resultando ya euritas que se disponen en bancos blanquecinos, de pasta homogénea, o pegmatitas, donde la presencia de los cristales de turmalina, y aun la del ácido túngstico no es extraña.

En las inmediaciones de el grupo «El Soldado» ya hablamos del «Pozo Granito» y de la presencia de esa roca entre las pizarras de encaje del yacimiento o yacimientos; zona granítica bien distinta de la correspondiente a la gran mancha del Valle, dispuesta al Sur de aquélla.

También en el filón de «Terreras» se anotó la presencia de coladas de pórfido, que aun fueron mucho más abundantes en las minas colindantes de Las Morras del Cuzna. Aquí, ya en la carretera de Córdoba a Almadén, al cruzar ésta al río Cuzna, al Norte y al Sur del puente construido al efecto, se anotan una serie de diques porfídicos graníticos muy interesantes, que demuestran dispositivos análogos a los anotados precedentemente para los yacimientos del grupo minero de Alcaracejos-Villanueva del Duque.

Apófsis de granito descompuesto aparecen, al Sur del contacto fundamental de la mancha granítica del Valle, en la mina «Canadá», y en las pequeñas labores antiguas inmediatas; asomos de tonalidad amarillenta y aspecto terroso sabuloso. Otro tanto ocurre al Sur del grupo Almadenes, donde pasado el Cuzna, y siguiendo al Norte de este riachuelo hacia el coto minero, se observan en el terreno, en las vaguadas laterales, elementos redondeados de pórfidos, análogos a los vistos al Oeste de la carretera general de Córdoba, al Sur del grupo de Las Morras del Cuzna. Otros materiales de esa clase se ven en el camino de Almadenes a Alcaracejos, al alcanzar las tierras de

tejar que se extienden al Sur del pueblo, y manifestaciones análogas se consignan al Norte de las minas «Claudio» y «Demetrio».

Prosiguiendo el examen comparativo, fuera ya de la región conocida desde el punto de vista del laboreo de sus criaderos, indicaremos que en el contacto del granito y de la pizarra, al Sur del ferrocarril de Conquista, al mediodía de Pozoblanco y de Villanueva de Córdoba, aparte de la línea fundamental que lo define, está manifiesto por una serie de apófsis, que se muestran en diques en las proximidades del susodicho contacto principal y que se disponen paralelamente a aquél.

Más al Sur, también se ofrecen otros apófsis de esas rocas, que enumerados del ONO. a ESE. en la zona a donde nuestras observaciones han podido extenderse, son los siguientes:

1.º El situado a siete kilómetros al Sur del contacto principal, en el camino de Pozoblanco a Gargantilla, y radicante en el lugar llamado Loma de la Vaca, entre el río Cuzna y el arroyo de la Vaca. Este se relaciona con los indicados al Sur del grupo de los Almadenes Hondos o del Chaparro Barrenado.

2.º El que se encuentra en la llamada Piedra de la Atalaya, gran asomo de un potente filón de cuarzo, que se extiende por la vertiente sudoccidental de esa eminencia, y está constituido por un granito grueso, basto, rosado, análogo al señalado en las inmediaciones de la mina «El Soldado». Ese asomo de la Piedra de la Atalaya se encuentra a dos kilómetros al Sur del contacto del granito y de la pizarra.

3.º Los definidos por materiales terroso-sabulosos, amarillentos, rosados, del cerro de Mirabuenos, sito a cinco kilómetros al Sur del contacto principal en cuestión,

en el camino de Pozoblanco a Obejo, y en el lugar llamado Cerro de Mirabuenos.

4.º Los que quedan entre los anteriores y la mancha granítica del Valle, en las cumbres de Cantador, a tres kilómetros de aquélla y a derecha e izquierda del camino de Obejo, ya citado, que se arrumba hacia el de la Piedra de la Atalaya. Asomos que afectan formas redondeadas, reacios, de gran predominio silíceo en general, ya en algún caso aparecen descompuestos y térreos, como sucede al pie de la casa de Cantador.

5.º Los que derivados del cerro Gordo siguen en las inmediaciones del camino de Pozoblanco a la loma de las Ovejuelas y se extienden al Este hasta el río Gato, al pie de los Puntales de la Cierva Coja. Serie de asomos que desde la mancha fundamental aparece desprendida, distando sus apófisis extremos del contacto en cuestión tres kilómetros y medio.

Lo que se desprende de los hechos señalados, y dada la naturaleza de las rocas en cuestión, es que realmente las circunstancias geológicas que se ofrecen en el grupo minero de Alcaracejos-Villanueva del Duque prosiguen en toda la porción marginal de la mancha granítica del Valle de los Pedroches, siguiendo un itinerario al ESE. Los mismos materiales petrográficos, ya hipogénicos, ya sedimentarios; el mismo dispositivo; los mismos fenómenos tectónicos.

La estratificación de las pizarras gris azuladas se conserva paralela al contacto principal; no siempre esa última esquistosidad está acorde con las bandas de coloración distinta que la roca sedimentaria afecta, como demostración patente de que la última disposición foliácea débese a presiones disimétricas con relación al dispositivo original de los estratos. El conjunto de estos sucesos ha llevado

en casos bastante frecuentes a una textura astillosa, y tras veces a una estructura en que la roca aparece rota en menudos elementos por litoclasas innumerables.

Otro de los fenómenos curiosos, es la abundancia de estos elementos de cuarzo blanco, lechoso, que se ofrecen formando las pizarras o interestratificado con ellas, y en tonos de distinta concentración. Este cuarzo es bien distinto del que interviene en los rellenos filonianos de la zona, y aparece como representando una fase diferente de la del relleno de las hendiduras o grietas filonianas plumíferas.

Si en esa región, a que estamos concretando nuestro estudio, se hacen itinerarios desde el Sur hacia el Norte, esto es, desde la banda de cerros que en la Chimorra definen el punto más eminente de la Sierra Morena, en la provincia de Córdoba (970 metros sobre el nivel del mar), eminencias que se extienden paralelamente al valle granítico al Sur, y a unos 12 ó 15 kilómetros, resulta, que asados los depósitos del Devoniano, claramente definidos por sus fósiles, ya a 10 kilómetros de distancia de la mancha granítica, en la carretera de Almadén, en los abruptos cerros de la junta de los ríos Cuzna y Gato, o en sus inmediaciones, siguen una serie de pizarras gris azuladas gris verdosas con manchas pardo-rojizas, que ofrecen algunas plegaduras, aunque casi siempre se presentan próximas a la vertical y con buzamiento predominante al NE.

A unos ocho kilómetros de distancia del contacto del granito, siguiendo un itinerario al septentrión, se acentúan las alternancias de las pizarras con las grauvacas amarillentas, en tránsitos a areniscas, a veces algo calcáreas; seguidan los estratos, con frecuencia, completamente verticales, y en un trayecto de unos dos kilómetros se nota

una gran difusión de esas vetas de cuarzo, céreo, ya interstratificadas, por rarezas transversales. Este último dispositivo afecta en la zona siguiente, a la que se pasa por tránsitos insensibles, donde ya aparecen los diques hipogénicos marginales que se anotaron; zona que se extiende hasta unos dos kilómetros, y aun menos, del contacto en cuestión; zona donde se encuentran los asomos filonianos principales del país.

Al Norte de ella aparecen las pizarras chistolíticas, también cortadas por apófisis, definiendo una banda de 500 metros a dos kilómetros de anchura, en las que ya hemos indicado la presencia de los crestones de los yacimientos y de los apófisis hipogénicos. A ella sigue, en las inmediaciones del contacto, la orla de las micacitas, cortadas por rocas de naturaleza pegmatítica. Finalmente, al Norte, se extiende ampliamente el granito, en el que encajan, en las inmediaciones del contacto, gran número de yacimientos cupríferos.

Esta relación de orlas sucesivas es general, no se concreta a este o aquel lugar; observada en la zona filoniana y conocida de Alcaracejos-Villanueva del Duque, se repite análogamente la observación al Sur de Añora y de Pozo blanco, sin lagunas o soluciones de continuidad que llamen la atención del investigador. Por lo tanto, es un elemento de juicio que orienta en el sentido de que las circunstancias tectónicas y endógenas son por completo idénticas para toda la zona que estudiamos.

Sobre la naturaleza de las grietas filonianas en la región

Los fenómenos que se observan en la región geológica del Valle de los Pedroches, permiten una catalogación que está patente en los hechos, en el dispositivo tectónico, en el metamorfismo regional, sucesivamente atenuado desde la mancha hipogénica hacia las periferias. La esquistosidad de las pizarras se arrumba aproximadamente paralela a los contactos de éstas con el granito; sin embargo, a veces, en las inflexiones más agudas de esa traza, las alternancias estratigráficas han quedado enmascaradas por una esquistosidad artificial posterior, derivada de los fenómenos dinámicos allá acaecidos, como se ha dicho.

Al rumbo O. 30° N. a N. 35° O. de las alineaciones pizarreñas y al buzamiento meridional de las mismas en las proximidades del contacto, buzamiento poco distanciado de la verticalidad, cuando no es esta misma, corresponden las mismas interpretaciones genéticas, el esfuerzo de presión lateral que el magma granítico ha realizado sobre las series sedimentarias persistentes. El hecho de la pizarra digerida por la roca hipogénica, como se ve muy bien en el Viso de los Pedroches, en la región del contacto, permite la confrontación de tales sucesos y la separación cronológica relativa de ambos materiales.

A ese dispositivo de la serie sedimentaria, a ese arrumbamiento, y al del contacto fundamental, corresponden alineaciones francamente normales en las grietas filonianas, cuyo examen intenso hoy nos está permitido, en vista de los datos de las explotaciones que tuvieron lugar en los tiempos presentes y que en el día continúan. En la mancha granítica del Valle, los filones examinados apare-

cen verticales o con dispositivo fluctuante y tendencia franca a esa verticalidad. Los yacimientos plumbíferos del contacto meridional se ofrecen igualmente con buzamientos imprecisos, variables, en que los meridionales predominan, pero donde, para el conjunto de los sucesos, tal inclinación aparece como algo secundario por lo que afecta a las dimensiones, dada la regularidad de las direcciones, normales a los arrumbamientos de la serie estratigráfica.

Entonces, esas direcciones filonianas, en su conjunto, aparecen como el resultado de la presión marginal, que por falta de espacio apropiado se traduce en quiebras y fracturas normales, a una distancia de aquel que representa una zona débil dentro del conjunto, como lo confirman los apófisis hipogénicos alineados paralelamente al contacto principal que anteriormente se ha señalado.

Resulta así que estas fracturas, que pudieran ser consideradas como exoquinéticas, dado el origen tectónico, que hay que reconocerles forzosamente, dado que son la consecuencia de un movimiento de plegadura o de presión de estratos sedimentarios, no puede negarse que, tanto por el magma fundamental del que en último término se derivan, como por las manifestaciones que llegaron a ellas, patentes en los apófisis porfídicos, verdaderos diques que buscan el camino de su expansión por las grietas cuyo examen nos interesa, participan, a su vez, de una génesis que obliga a considerar para tales yacimientos un origen endoquinético.

Las fracturas han tenido lugar sobre un terreno formado por pizarras, por pizarras y grauvacas alternantes, o por las últimas, que, como se ha indicado, muestran tránsitos de areniscas a conglomerados y aun a verdaderas gonfolitas. Dentro de la uniformidad aparente y aun de la mayor que a esas rocas prestan los fenómenos de silicificación y otros

de metamorfismo, es indudable que la naturaleza de la roca original, sobre la cual tuvieron efecto los fenómenos determinantes de las grietas filonianas actuales, llevó consigo la modalidad o tipo de la fisura, que a veces no se concreta a un espacio limitado de dimensiones iguales, como se ve en el gran yacimiento de El Soldado.

En este caso, aunque la dirección de ese criadero se conserva dentro de reducidos trechos, se ve que la quiebra original, más que a un espacio concreto y definido, se extiende a una zona amplia, a una quebradura de la roca en sentido normal a la esquistosidad, definida por una serie de grietecillas y fisuras continuas, sucesivas. Esto se halla también de acuerdo con el relleno de tales filones, en que la roca de caja, pizarras y grauvacas, forman la mayor proporción de las gangas.

Al mismo tiempo, el carácter de tales fracturas explica que, siguiendo el arrumbamiento del filón, siendo permanentes los materiales del relleno, sin embargo, se modifique su dispositivo, que en este caso queda patente como un hecho accesorio; y así se ve que las mismas galenas, en la misma corrida, afectan, ya dispositivos fajeados, ya formaciones en «stockwerk».

No puede negarse que, en este orden, también todos los lugares estudiados que se extienden al ESE. del grupo minero de Alcaracejos-Villanueva del Duque, se hallan en las mismas condiciones genéticas que todos los parajes enumerados precedentemente, pues son igualmente apropiados para que en ellos se encuentren yacimientos similares a aquellos que hoy nos son perfectamente conocidos en la región y cuyos detalles fueron precedentemente expuestos.

Un primer examen de la zona del contacto de la serie hipogénica y de la sedimentaria, desde el grupo minero

de El Soldado al río Gato, así nos lo demuestra palpablemente; entonces procedía, en vista de cuanto se ha expuesto, intensificar el detalle de la observación a fin de aportar mayores elementos de juicio que nos permitieran apreciar si ya en este examen del detalle se hallaban antecedentes que justificaran ser optimistas en la cuestión propuesta acerca del porvenir minero de la zona plumbífera.

Circunstancias tenidas en cuenta para el reconocimiento

Expuestas las ideas de conjunto que el estudio de la región nos sugiere, para lo cual hemos partido del examen de los casos prácticos bien conocidos, que emplazados tectónicamente nos permiten extender el estudio al lugar similar desde el punto de vista de los yacimientos de plomo radicales; hecho el reconocimiento geológico que procedía, particularmente en lo que a la observación de los materiales petrográficos y de las alineaciones tectónicas hace referencia, era necesario para llegar a las deducciones por comparación, señalar los asomos, las manifestaciones exteriores de los criaderos radicales en aquellos lugares.

Los elementos básicos para ello serán las labores antiguas ejecutadas y, antes, los afloramientos o crestones.

Rellenos de los yacimientos de la zona

Los criaderos plomíferos, encajados en las pizarras paleozoicas de la zona de Alcaracejos-Villanueva del Duque, hemos dicho que aparecen rellenos por las rocas de caja; ya en profundidad, a veces interviene el pórfido en ese

relleno, pero como apófisis que penetró en la grieta original. A las pizarras y rocas similares que definen el terreno en que encaja el yacimiento, se une el cuarzo, muy abundante, que reúne los fragmentos de las rocas sedimentarias, dando lugar a una brecha filoniana propiamente dicha, en la que suele frecuentemente figurar, como componente, la mena. La pirita de hierro es otro de los elementos abundantes en la región filoniana que, por los efectos de meteorización, impregna las rocas del afloramiento de coloraciones parduscas.

Por tales circunstancias, no es extraño que aparezcan en los crestones y en la zona superficial de los criaderos, abundantes restos de esa brecha filoniana de pizarra y cuarzo, en donde por la disolución de las sustancias metalíferas se ven huecos numerosos; a ella y por extensión a esa brecha en que la pizarra está unida por el cuarzo, los mineros de la zona la llaman «cuesco», que con frecuencia ofrece formas esponjosas por desaparición de los metales originales integrantes.

Más, en la superficie, no es raro que falte en absoluto toda sustancia mineral por efectos de disolución; y con frecuencia, porque hasta allí no llegaron las sustancias metalizadoras, caso frecuente en la región, donde la verdadera importancia de las columnas ricas parece situarse hacia los 100 metros de hondura. Sin embargo, a este propósito hemos de hacer constar las numerosas explotaciones y escoriales romanos de esa zona, que aunque muy interesantes, no pueden representar el agotamiento de la misma, y sí sólo el indicio de sus características de explotabilidad; como la intensidad de aquel laboreo nos permite sospechar y como la explotación actual nos lo confirma.

Las circunstancias que concurren en estos casos tienen

que ser apreciadas con detalle para evitar confusiones lamentables. Los afloramientos de los criaderos en cuestión puede verse que no se ofrecen en el terreno de una manera continua; variando en ellos la proporción de cuarzo, pronto se percibe que a veces son más blandos que la misma roca que les sirve de encaje, pasando por una serie de tránsitos según el grado de silicificación que alcanza el conjunto.

Es decir, que el afloramiento aparece como un hito aislado en la dirección del yacimiento, que podrá o no ser referido a otros hitos que sobre el mismo se puedan percibir.

En otros casos, incluso la mayor blandura del relleno del yacimiento que la del terreno, da lugar a un surco en vez de originar una prominencia. Por último, lo frecuente es que el yacimiento se dibuje en el terreno cuando la erosión barrió la tierra laborable y quedaron a la vista las rocas integrantes de la infraestructura y se dibuje por una faja cenicienta reticulada de vetillas de cuarzo, rojizos otros, cuyo conjunto no ofrece una anchura mayor de 20 a 80 centímetros, que corta limpiamente el conjunto de las alineaciones de la serie sedimentaria.

Se ve así que aparte de esos casos, en que por una u otra circunstancia puede apreciarse en el terreno la existencia de los criaderos, no cabe la menor duda de que muchos de esta clase han de ser consecuencia de los hallazgos casuales, y buena prueba de ello es el importante filón «Intermediario» de «El Soldado», que a pesar de la importancia de este grupo minero no era conocido, e incidentalmente quedó patente hace pocos años.

Si esto ocurre con yacimientos que son la más importante reserva de la segunda mina productora de galenas de España, bástenos para formar opinión respecto a este

asunto y para confiar en las reservas que nuestro suelo aun guarda.

Yacimientos vistos en la zona estudiada, que por su relleno permiten considerarse como interesantes para el reconocimiento

Siguiendo en la enumeración de occidente a oriente, y advirtiendo que sólo hemos de citar los asomos de los yacimientos más interesantes; que otros, por no aparecer claramente definidos, quedan omitidos en la presente relación; y que, desde luego, creemos, por todas las razones apuntadas, que el número real de ellos es muy superior. Anotaremos los siguientes, que hemos visto en nuestros repetidos itinerarios:

1.º Filones del «Canadá». Sitos en el Colmenar de Casilla Blanca, camino de Linarejos y del Pozo de la Benita.

2.º Filones de «Los Almadenes Hondos»; también anotados precedentemente. En las inmediaciones del camino del Muzgaño.

3.º «Filón del Fontanar». A unos dos kilómetros al ESE. del grupo «Canadá» se hallan estos yacimientos, con dos afloramientos normales y uno transversal, interstratificados, que corta el camino de Pozoblanco al Chaparro Barrenado, o camino de Córdoba. Uno de los criaderos, el más oriental, sigue hacia la fuente de Genelázaro, y el más septentrional queda al Norte, a un kilómetro de ella, en el contacto con la mancha granítica del Valle.

4.º Filón de «San Bartolomé». A dos kilómetros al ESE. del anterior, en las eminencias que descienden desde la zona metamórfica de las pizarras colindantes con

el granito a la depresión de las más arcillosas que definen la cuenca del río Cuzna; queda ese yacimiento a un kilómetro al Oeste de la carretera de Pozoblanco a Villaharta, hoy en construcción.

5.º Filones del arroyo de Coso, con alguna pequeña labor en las pizarras gris azuladas, entre las que se ven asomos de cuarzo y elementos de aquellas rocas reunidos por éstos. Su dirección parece transversal, es decir, figuran como interestratificados y muestran ejemplares de mineral de cobre.

6.º Al Norte de la loma de la Era Grande, y de las inmediaciones de la carretera de Pozoblanco a Villaharta, a un kilómetro de las manifestaciones anteriores, y al ESE. de ellas, se nos ofrecen otras dignas de atención, sobre las cuales se llevaron a efecto algunas labores, que dejaron al descubierto una pequeña cantidad de mineral, cuyo detalle expondremos más adelante. Se trata también de un criadero que, al parecer, corta a escaso ángulo la serie estratigráfica, y, por tanto, con tendencia a la interestratificación.

7.º Yacimiento del Toril Alto. En el escarpe de esta eminencia a la depresión del valle del Cuzna, a 1,5 Km. al Este del anterior. Se ofrece en el mismo contacto del granito y la pizarra; el relleno es recio, cuarzoso-pizarreño.

8.º Yacimientos de la Piedra de la Atalaya. En la eminencia definida por el gran crestón de cuarzo de la Piedra de la Atalaya, y en las inmediaciones de los diques graníticos allá radicantes, quedan los asomos de varios yacimientos bastante interesantes. Se encuentra este lugar al Sur del anterior, a tres kilómetros y medio de él, en el camino que llaman de Pozoblanco a la Cucharera. La distancia a Pozoblanco es de unos 11 kilómetros, quedando aquel pueblo al Norte.

Estos criaderos encajan en las pizarras, que cortan algunos asomos graníticos, siendo el mayor el que queda al SO. del Pico de la Atalaya. Existen yacimientos de dos tipos: tres arrumbados a NNO., de potentes crestones de cuarzo o de grauvacas silicificadas, verdaderas cuarcitas, que a su vez muestran numerosas vetas de cuarzo lechoso, que cruzan los bancos en todos sentidos. Los otros filones son de tipo normal; aparecen cortando las pizarras; se arrumban al NE.; sobre ellos hay algunas labores antiguas y fueron objeto de concesiones en distintas fechas.

9.º Filones del arroyo de la Atalaya. Siguen las manifestaciones indicadas al SE. al arroyo de la Atalaya, donde se han señalado los afloramientos de cinco yacimientos, con labores antiguas algunos, labores que no parecen removidas en los tiempos presentes, al menos en su mayor parte. Se trata de grietas normales a la estratificación de las pizarras y grauvacas que forman las rocas de caja.

10. Filón del Sortijón del Cuzna. A un kilómetro al Sur de los anteriores, prolongación de uno de ellos y, acaso, el ejemplo más interesante de toda la zona que estudiamos; desde luego son de notar sus grandes labores romanas, que dan idea de un intenso laboreo, a pesar de la circunstancia de cortar la corriente de aquel río, que ha de ser necesariamente, y seguramente lo fué, grave entorpecimiento para un económico laboreo.

11. Yacimientos de Cantador y El Priscalajo. Los indicios de la Atalaya aun prosiguen, al Este y SE. al Cantador y El Priscalajo, donde se han señalado algunos indicios de reducidas labores, y donde están patentes un filón en la casa de Cantador y otro en la fuente situada al Norte de la misma, en la que se cortó la piritita de cobre; caso que debe relacionarse con el de los filones

plumbíferos de la zona, según las enseñanzas del grupo de Almadenes Hondos.

12. Yacimientos de Mirabuenos. Al SE. de los de Cantador, a tres kilómetros y medio de ellos; al Este de la casa de Mirabuenos hemos visto indicios de estas labores y algún leve asomo de estos yacimientos que estudiamos; indicios que parecen continuar rodeando el cerro Gordo, y que siguen a enlazar con los observados en el camino de la loma de las Ovejuelas a Villanueva de Córdoba, a un kilómetro al Sur de la casa de las Muleras, límite del granito del Valle y de la serie pizarreña. Queda este lugar a unos 20 kilómetros al SE. de Pozoblanco, y a 16 de Villanueva de Córdoba, al SO. del último pueblo.

El rumbo de las fisuras es normal al de la serie estratificada y también normal al contacto del granito. El relleno es el usual en esta clase de filones; la brecha filoniana con elementos de la pizarra de caja, reunidos por el cuarzo. No hay labores de reconocimiento interesantes.

13. Filón de los Callejones de Rocejo. Al Norte de los anteriores, en ese paraje, donde el granito rodea un entrante de la serie sedimentaria, y en el contacto de las dos formaciones; arrumbado de Este a Oeste se ve, en el camino de Pozoblanco a la loma de las Ovejuelas, un crestón cuarcífero con abundantes pintas de chalcopirita en el asomo.

14. Otro yacimiento de plomo aparece en el ventorrillo de la Cruz del Garabato, más al Norte aún que el anterior; este último parece relacionado con el pozo del Almadén y de él se arrancan muestras excelentes de galena, encajando en el granito.

Este último filón ha sido reconocido modernamente por una calicata.

15.º Por último, tres asomos filonianos, exactamente

iguales a los que vamos anotando, aparecen en la subida por el camino del Rongil a Pozoblanco, ya pasado el río Gato, entre los arroyos Castillejo y de los Visós de Torrico; y al seguir al Norte, volcadas las lomas rojizas que como siempre allá definen el contacto de las dos formaciones, granito y pizarras, parecen en correspondencia sus alineaciones con los potentes crestones de cuarzo que se arrumban hacia los arroyos de Guadalcazar y de los Almadenes del Soberbio.

Esta descripción sucinta se aúna con los antecedentes que aportábamos como consecuencia del estudio geológico que ya nos hacía presumir la continuidad de estos yacimientos, confirmada por la presencia de tanto crestón y por la verosímil suposición de aquellos otros criaderos, que ya por la erosión, ya por la topografía, ya por escaparse del radio de nuestras observaciones, no han podido concretamente ser especificados en la relación preinserta.

Más indicios de la explotabilidad de los yacimientos que se extienden por la zona de observación

Como tránsito de los antecedentes de juicio que vamos acotando a la demostración de la explotabilidad de la zona en cuestión, hemos de anotar la presencia de los minerales objeto posible de esa explotación, que aparecen en los crestones o afloramientos, o la de otras sustancias que con tales minerales se hallen estrechamente relacionadas; y, después, la existencia de labores y trabajos que permitan fundadamente creer que en la región, ya de antiguo, cuando estas manifestaciones de la existencia de tales criaderos quedaron al descubierto, merecieron los honores de la explotación o de la investigación al menos.

Claro es, que estas labores son una consecuencia de aquellas manifestaciones primeras, ya que la presencia del plomo o de otro metal en los crestones, fué la causa determinante de la explotación en la antigüedad y en muchos casos, en la mayoría de ellos, lo es en nuestros días. Existiendo esos trabajos en diferentes lugares de los que se consignan en la relación anterior de los yacimientos observados en la zona, no hay necesidad de insistir en que la presencia de las sales metalíferas es indudable en todos o en la mayoría de estos crestones.

Anteriormente insistimos, no obstante, en la frecuencia con que estando ausentes estos minerales de los afloramientos, sin embargo, no es esta razón para que en profundidad no puedan hallarse columnas metalizadas de indiscutible valor; los casos conocidos de la región nos lo demuestran así de una manera concreta y determinada.

Respecto al laboreo pretérito, hay que tener en cuenta que generalmente se ha dirigido a aquellos yacimientos en que la galena tiene una ley alta de plata; y así se ha visto en el grupo de Alcaracejos-Villanueva del Duque.

Resumen de los trabajos antiguos reconocidos, y de los minerales hallados en los filones enumerados precedentemente

Los detalles de los grupos «Canadá» y «Almadenes», quedaron anteriormente extractados; proceden de trabajos realizados en el día y son elementos de juicio que nos han servido de base para el trabajo presente.

La presencia de piritas de hierro en los restos de los afloramientos enumerados es patente, principalmente en el yacimiento inmediato a la carretera de Pozoblanco a

Villaharta, en los de la Piedra de la Atalaya y en los del grupo de igual nombre. La de piritas de cobre y carbonatos de esta sustancia ya hemos indicado que es muy general y, particularmente a este objeto, merecen señalarse aquí los indicios de los filones del Fontanar, San Bartolomé, arroyo de Coso, arroyo de la Atalaya, El Cantador y Priscালেjo, que aunque más en el contacto de la mancha granítica de Los Pedroches, lo citamos en este lugar como testimonio de que allí también llegaron los vestigios de la metalización hasta la superficie, lo que en la actualidad puede ser observado.

Los minerales de plomo no faltan tampoco. Bajo la forma de carbonatos amarillentos o blanquecinos, dando notable pesantez a los ejemplares que los contienen, con relación a aquellos otros de aspecto similar, pero que carecen de ello; se anotan en los yacimientos de arroyo de Coso, inmediaciones de la carretera de Villaharta, Piedra de la Atalaya, arroyo de la Atalaya y El Priscালেjo. Y bajo la forma de galena, en el Sortijón del Cuzna y en el Ventorrillo de la Cruz del Garabato, principalmente.

Estos indicios mineralizadores se han reconocido, a veces, en los crestones, otras veces en las labores antiguas o recientes situadas sobre éstos, de las que daremos una sucinta idea, señalando las más importantes.

MINA «SAN CARLOS».—Esta mina se encuentra en el Sortijón del Cuzna, sobre los viejos trabajos allá situados; dicho río define un meandro muy cerrado que corta el filón por su eje. La principal importancia de esta mina, en opinión del ingeniero Sr. Suárez Inclán, se basa en la siguiente afirmación, que estimamos de gran interés: en Sierra Morena, las metalizaciones de las minas de plomo no guardan relación determinada con la profundidad, y si

hoy día no se encuentran minas con afloramientos seriamente metalizados, no es por una razón metalogénica, sino simplemente porque donde los había, los romanos y otros pueblos anteriores los han explotado. Según esto, un trabajo antiguo de importancia tiene para el cálculo de probabilidades de la explotabilidad tanto valor como un crestón bien metalizado.

En El Soldado y Alcaracejos, las metalizaciones más interesantes se han hallado bajo las rafas romanas, o bien fueron encontradas por pura casualidad con las labores subterráneas. Ese es un dato fundamental para el estudio de las minas con posibles metalizaciones en la región.

En la mina «San Carlos» los trabajos antiguos son grandes y siguen una gran corrida hasta enlazar con los que hemos llamado del arroyo de la Atalaya; se suceden en una longitud de unos dos kilómetros y medio, siempre encajando en las pizarras, que ofrecen un dique de granito porfídico interestratificado en la vaguada del arroyo de la Atalaya.

En la superficie se han hallado algunos trozos de galena argentífera y ensayado uno de ellos, recogido al azar, dió 7,5 kilos de plata por tonelada de plomo metálico; razón que confirma el interés de la explotación antigua, al par que señala una superficialidad en el criadero y en su metalización; también es señal de que éste fué muy argentífero. En El Soldado y, en general, en la zona Villanueva del Duque-Alcaracejos, se ha visto así que los filones con mayor cantidad de labores romanas fueron los que dieron minerales más argentíferos en la explotación.

LABORES DEL PRISCALEJO Y DEL CANTADOR. LABORES DEL ARROYO DE LA ATALAYA.—Dos labores antiguas se encuentran en el Priscalajo, las que determinan una alineación

al N. 20° E. Recientemente se hizo un principio de limpieza de aquellos trabajos, hallándose algunos pintos de galena y de piritita de hierro. Más al Sur, en la casa del Cantador, corre un filón de brecha pizarreño-cuarzosa que encaja en las pizarras paleozoicas, allá cortadas por diques estrechos de una roca macro-cristalina muy descompuesta, de recios elementos redondeados de pórfido.

Al NO. de la cúspide del cerro Cantador, en la fuente de ese nombre, que mana en el contacto de las pizarras y el granito porfídico, se ha cortado un filón de piritita de cobre, que ya indicamos, el que parece normal a la estratificación, que puede relacionarse con los plumbíferos, dada la forma del encaje y el conocido ejemplo de la mina «Almadenes».

Al Oeste de ese lugar y pasado el arroyo de la Cucharrera, aparecen una serie de filones fuertemente cuarzosos, que corren N. 25° O. y van a enlazar con los de Piedra de la Atalaya; éstos, a su vez, son cortados por otros de brecha filoniana pizarreño-cuarzosa, con las características anotadas precedentemente. Sobre uno de los últimos, el más septentrional, se han encontrado materiales muy interesantes que demuestran que nos hallamos en una formación filoniana; aparecen con alguna piritita de hierro y carbonato de plomo; estos hallazgos se realizaron con una labor que se hizo buscando agua y que tiene 10 metros de profundidad.

Más al Oeste, y a unos 750 metros del anterior criadero, arrumbado al N. 30° E., otro filón corta la estratificación perfectamente, y en él se ven tres labores antiguas en una longitud de unos 30 metros, en donde se recogen algunos ejemplares de mineral, de carbonatos, y algunos de galena; hacia el Sur, otra pequeña labor queda a unos 60 metros, y el conjunto de las anteriores quedan a unos dos kilóme-

tros del Sortijón del Cuzna; definen los trabajos más septentrionales a que se alude precedentemente en la nota de la mina «San Carlos». El filón es vertical, corta las pizarras paleozoicas, que se arrumban al N. 35° O., y buzan al SE. unos 50°.

Siguiendo desde allá hacia el grupo de la Atalaya, según el rumbo del criadero últimamente anotado, se corta un dique porfídico, y en las inmediaciones de aquella vauada se ve un asomo del filón ferruginoso que parece arrumbado al O. 35° S., casi paralelo al anterior y con el que enlaza; por el Norte de la casa de los Collados va a unir con el de la mina «San Carlos».

En la subida hacia la divisoria con el Cuzna, quedan tres labores, muy antiguas, casi unidas; particularmente debe citarse una importante rafa y dos pozos, en donde se reconocen elementos de carbonato de plomo; rehundida aquélla, se arrumba al N. 45° E., siendo la anchura de unos seis metros y la corrida total de estos trabajos es de 50 metros.

En el camino de Pozoblanco a los Collados y a la Aliseda, en los altos de la divisoria anotada, aparecen los crestones de esos yacimientos cortando la estratificación de las pizarras y grauvacas alternantes, siendo allí más clara su presencia, ya que por el dispositivo topográfico la erosión barre hacia los bajos el delgado manto de las tierras laborables, quedando las rocas infrayacentes al descubierto.

En ella, la dirección de las pizarras se conserva al N. 35° O. y al Sur del camino hay otra gran labor de seis metros de anchura, que es un enlace de las anteriores con las de la mina «San Carlos», que quedan a un kilómetro al Sur, en la hondonada.

«LA ATALAYA».—El crestón de la Piedra de la Atalaya parece arrumbarse de Norte a Sur; al Sur se ven unos rehundidos en las inmediaciones del dique granítico que lo corta, los cuales pueden corresponder a trabajos antiguos; otros de ellos aparecen en lo alto, donde entre los materiales sueltos se observan restos de crestones con carbonato de plomo; al Oeste hay otro crestón similar, a unos 200 metros. Pero los más interesantes son los que se asoman al Este, sobre los cuales existen labores antiguas importantes y en cuyos vaciaderos se encuentran ejemplares abundantes de pirita de hierro, de materiales del relleno de la grieta filoniana y alguno de galena.

CARRETERA DE POZOBLANCO A VILLAHARTA, ARROYO DEL CASTILLO.—Yacimiento arrumbado al N. 15° O., relleno de cuarzo y pizarra, en el cual existen dos pozos de siete y seis metros, a distancia de unos 60 metros, quedando entre la expresada carretera y el camino de la Gargantilla. La potencia del crestón es de un metro, y en su relleno se ven piritas de hierro y carbonatos de plomo.

Consecuencias y deducciones del presente estudio

Como consecuencia de cuanto llevamos expuesto, resulta claramente que la zona filoniana de Alcaracejos-Villanueva del Duque se prolonga, sin género alguno de dudas, siguiendo la orla que las pizarras paleozoicas y metamorfizadas definen al Sur del contacto de esa serie con la gran mancha granítica de Los Pedroches, al rumbo ESE.

Todos los elementos de juicio, el resultado de las labores llevadas a efecto en la zona en los últimos tiempos, los viejos vaciaderos que corresponden a una explotación ar-

caica, los hallazgos de ciertos minerales, la traza de éstos y su composición en relación con los materiales geológicos integrantes de aquellos terrenos y con el dispositivo que afectan, son una serie de datos que se aúnan y permiten sentar tales afirmaciones; y asimismo, que en el terreno de las realidades puede contarse en la zona que hemos estudiado, es decir, en un recorrido de más de 40 kilómetros a lo largo de ese contacto, con yacimientos que suponen en su conjunto una positiva reserva de importancia para la minería cordobesa, ya que cuantas razones se aducen, unidas a un prudente cálculo de probabilidades de explotabilidad, nos confirman en la idea de que estos yacimientos deben incluirse entre aquellos que ofrecen un franco porvenir.

Zona comprendida entre los ríos Gato y Yeguas

Los diques hipogénicos marginales a la gran mancha granítica de Los Pedroches

Se ha señalado la importancia que parece revestir esa serie de diques endógenos que orlan la gran mancha granítica de Los Pedroches. La relación que se deduce entre la presencia de los ricos yacimientos explotados en la zona de Alcaracejos-Villanueva del Duque y esas rocas ácidas, graníticas, es tan evidente como curiosa, lo que dispensa la insistencia con que persistimos sobre el asunto.

Por ello no puede extrañar que en nuestros repetidos itinerarios siguiéramos bien de cerca la acotación de esas

manifestaciones exteriores de los sitios adonde alcanzó de manera indubitable la acción endógena. Desde el punto de vista de la génesis más admitida de los yacimientos minerales, unos y otros antecedentes nos revelan relaciones de distancia entre los focos emisivos y los puntos simétricos, adonde llegaron las acciones dimanadas de los primeros.

Consecuencia de esa observación es la serie de lugares que quedan de manifiesto en el plano que se acompaña.

La observación del terreno

Las labores mineras, los afloramientos de los yacimientos que asoman en esta segunda sección o zona, son también muy numerosos, y principalmente los siguientes:

ALREDEDORES DE RONGIL.—Por Rongil, el límite del granito y de la pizarra se halla a un kilómetro al Sur de la Venta de la Jara, arrumbándose las pizarras al O. 35° N. y buzando 75° al Sur. Se observa allí la presencia de algunos filones de cuarzo blanco, cuyo relleno lo definen los cuarzos blanquecinos; estos filones corren al O. 45° N., apareciendo también afloramientos de granito amarillento, descompuesto, en cuyas inmediaciones se comban y dislocan algo las pizarras, pero pronto se restablece su rumbo general al O. 30° N.

Descendiendo desde aquí hacia el río Gato, se observan intrusiones de granito descompuesto, que rompen y metamorfosean las pizarras, apareciendo, a veces, aquellas rocas hipogénicas intensamente descompuestas y caolinizadas. Por el contrario, al Norte se ven algunos asomos de recias formas redondeadas, encajando en ellos, que

ofrecen un tránsito a sienita, arrumbada al N. 35° O., una vetilla de pirita de hierro de un centímetro de espesor. No faltan por aquí demostraciones de formaciones filonianas; debemos hacer mención del yacimiento que se encuentra hacia la unión del arroyo que corre al Sur de Valdebuciegas con el río Gato; lugar donde se abrió un pozo de cinco metros, reconociendo en su fondo la presencia de la pirita de hierro y del plomo sobre un filón de relleno cuarzos, según los antecedentes que nos faciliten.

Al Norte, las pizarras siguen manifestando distintos arrumbamientos, y se ven en el arroyo de Rongil restos de una labor, con pirita arsenical en el cuarzo compacto y blanquecino; más al Norte de ese lugar se halla el cerro de la Minilla, y en él un gran vacie sobre un criadero, que parece arrumbado al N. 40° O.; corre la pizarra al O. 45° N., viéndose restos de excavaciones muy antiguas y hallándose carbonatos de plomo en el citado vaciadero.

Siguen luego al Este pizarras chiastolíticas, que corren al O. 20° N., con buzamiento de 75° al SO. Hacia el contacto del granito con el sedimentario metamórfico aparecen de nuevo diques pequeños de granito muy feldespático, descompuesto; como hemos visto que sucede constantemente al lado de esa línea geológica, no faltando tales apófisis endógenos a todo lo largo de la misma. Alguna aplita rosada queda ya en el camino de Navala-artera, donde asoman las micacitas, la faja del metamorfismo más intenso; y seguidamente, como era de prever, en vista de los repetidos hallazgos realizados en la zona, y de la sucesión de las aureolas del metamorfismo, aparecen los grandes canchales de granito y las tierras arenosas procedentes de la desintegración del mismo, que se suceden al Norte sin interrupción.

Al Sur de Rongil se extienden las pizarras azuladas, de

crestones parduscos, verdosas y alternantes con grauvacas, que corren verticales; y en el carril de la loma al Caballón, asoma un crestón filoniano, relleno de pizarra y cuarzo, a unos tres kilómetros al Sur de Rongil.

Esas pizarras se extienden ampliamente por el camino de Villanueva de Córdoba a Obejo.

CABALLÓN, LAS MINILLAS, RONGIL, VILLANUEVA DE CORDOBA.—Descendiendo del Caballón de Cuenca, al Norte, penetramos rápidamente en la serie estratificada marginal del Valle de los Pedroches. Las pizarras se arrumban de O. 35° N. al N. 35° O., alternando con grauvacas o areniscas metamórficas verdosas, con bastante frecuencia. Alternan también con ellas sucesivas vetas de cuarzo blanco.

Esas pizarras corren al O. 35° N. en el arroyo del pozo de las Hoces, y más al Norte son astillosas, negruzcas, viéndose numerosos restos de cuarzo suelto en el terreno. Se hallan en este lugar Las Minillas, labores de reducida importancia, pero ciertamente de carácter minero.

Al N. 10° E. se observa allá una rafa en donde las pizarras asoman arrumbadas al N. 35° O., buzando al Sur 60°; pizarras de tonalidad azulada, que es también la del relleno del yacimiento, por las muestras que se pueden observar en el vaciadero, a veces algo rojizo, color derivado de los ocre. Esa rafa tiene unos 12 metros de longitud y en el extremo septentrional queda el vestigio de un pocillo, en cuya escombrera se ven restos del sombrero de hierro, de marcado carácter esponjoso, pintos de malaquita y azurita y algún carbonato de plomo con cuarzo azulado, pirita de hierro en cantidad relativamente abundante y cuarzos esqueléticos donde dejaron su huella los cristales de mineral ya disueltos.

Este vaciadero del pozo parece ser más moderno que

el de la rafa, como si pasados bastantes años desde la ejecución de aquélla se hubiera intentado otro reconocimiento con el pocillo. Al Norte de ese lugar queda la llamada fuente de las Minillas, de aguas algo herrumbrosas, viéndose en todos los lugares inmediatos abundantes muestras de cuarzo blanco, que con frecuencia aparece interestratificado entre las pizarras azuladas.

Siguen así al ventorrillo del Madroño y al camino de Rongil; hay allí algunos restos de filón. Luego, al N. 30° E., corre el asomo de un yacimiento, de un metro de potencia, de relleno cuarzoso rojizo, arrumbándose las pizarras en que encaja al O. 35° N. Otro yacimiento aparece paralelo al anterior en la loma de la Pizarra, con una potencia de 30 centímetros; corta igualmente el camino de Villanueva de Córdoba a Obejo, quedando al Norte y a poco más de un kilómetro del citado ventorrillo del Madroño.

Alternan por allá las pizarras chiastolíticas con las grauvacas verdosas, que ahora se nos ofrecen cortadas por una aplita y por otros materiales derivados de la gran mancha granítica, que en el bajo se extiende al Norte hasta Villanueva de Córdoba, sin interrupción, cortada por filones del mismo rumbo que los anteriores, donde hasta ahora el mineral que se ha indicado como probable fué el de cobre.

NAVALCAUTIVO.—La penillanura granítica está aquí muy bien determinada. Entre las arenas derivadas del granito se observan restos de cuarzo sueltos, de tipo agatoide, a veces tan abundantes que a expensas de los mismos se han formado las cercas que rodean aquellos predios.

No es raro encontrar, en las mismas, elementos de pizarra metamórfica, roca que asoma mostrando sus crestosnes verdosos y parduscos hacia el mediodía; rumbo al cual se presentan cerros rojizos, eminentes y de líneas

suaves, por corresponder a las alternancias de los diques endógenos y de las pizarras, conjunto más resistente a la erosión que el hipogénico y que el sedimentario marginales, al Norte y al Sur, respectivamente, de aquella ininterrumpida serie de alturas topográficas.

Al Sur de Navalcautivo, pasa del granito a la pizarra el crestón de un yacimiento que se arrumba de Norte a Sur, de relleno fajeado, cuarzoso, blanco en los lados y rojizo en el centro. Otros dos potentes filones cuarzosos corren también de Norte a Sur, al Oeste del cerro de San Cristóbal, distando 100 metros uno del otro y quedando paralelos a un tercero que se apercibe al Oeste de los anteriores.

Siguiendo ese itinerario occidental, pasado el camino de la huerta del Serrano, asoma la pizarra dislocada, cortada por pórfidos caolinizados y por vetas de pegmatita turmalinífera, viéndose también otras de cuarzo interestratificadas o cruzantes, donde se reconoció el volfram, que se intentó explotar en este paraje de Navalanguilla, siendo testimonio de ello las rafas y calicatas que allí se aperciben, donde radica la mina «Alcira».

Más al Oeste, a unos 250 metros, cerca de unas canteras abiertas en la pizarra, hay un filón arrumbado al N. 30° O., que buza al Sur unos 80°, siendo su relleno rojizo cuarzoso y encajando en la pizarra metamórfica. Otros restos de la misma son de tipo concrecionado, negros, relucientes y de enorme dureza, idénticos a los observados en las cercanías de Fuente la Lancha, también en el contacto del granito con la pizarra.

Al Oeste del lugar anterior, corre al O. 30° S. una veta de cuarzo resinóide que corresponde al afloramiento de otro criadero. Más restos filonianos se hallan en Las Solanas de los Aguaderuelos, entre las pizarras chiastolíticas,

que corren al O. 45° N., y otros filoncillos se ven en el camino de Córdoba a Villanueva de Córdoba, quedando las labores antiguas de Las Minillas a un kilómetro al SO. de aquellos parajes.

LA GARRANCHOSA A VENTA CHUMBA; HUERTA DEL SERRANO Y CERRO BERMEJO.—Al Norte de los asomos calcáreo-pizarreños, brechoides, del devo-carbonífero de La Garranchosa, siguen extensamente las pizarras, que por allá parecen arrumbadas al N. 25° O., por la Piedra del Berruezo, donde aparecen cortadas por un asomo porfídico. Otro tanto se repite en el cerro del Aguila.

Pasado el camino de Villanueva de Córdoba a Córdoba, se observan los vaciaderos de pizarra negruzca azulada, correspondientes a exploraciones de investigación de agua en el arroyo Hondillo, viéndose algunas vetas de cuarzo entre los estratos de aquéllas. Después corren esas rocas sedimentarias al O. 35° N.; siguen hacia el NE., al arroyo de las Víboras, al Este algo combadas. Luego se arrumban al N. 35° O. y buzan al Sur 75°, continuando a la venta del Mercader, en el camino de Adamuz a Pozoblanco y a la venta Chumba y huerta del Serrano. Esta se halla al pie de los cerros de tierras parduscas oscuras, rojizas, que definen la región geológica del contacto del hipogénico y del sedimentario.

Al Oeste de la venta Chumba, en el camino de las Veredas, asoma un crestón filoniano relleno por materiales silíceo-pizarreños azulados. Siguen al O. 35° N. las pizarras, a enlazar con las examinadas en Las Minillas y Rongil.

Hacia el Sur, abundan en el camino del pantano del Guadamellato las vetas de cuarzo, que a veces aparece mezclado con sustancias verdosas cloríticas. En el arroyo

de Las Minillas, la dirección de las pizarras es al O. 35° N., buzando al Sur 75°; siguen éstas asomando por El Castillo y arroyo de igual nombre, sin variación digna de mención especial.

CAMINO DE VILLANUEVA DE CÓRDOBA A ADAMUZ.—Por la ermita de la Ciguñuela siguen asomando los canchales de granito, que sin interrupción se extienden al mediodía. A veces se ven algunas vetas de recias granulitas y aun algún filoncillo de pegmatita hacia el contacto con el sedimentario, que se halla próximo a la linde de la dehesa comunal de Adamuz. Estas pegmatitas con turmalina merecen ser citadas en el mismo contacto de las pizarras verdosas y azuladas que allí aparecen.

Corren las rocas del sedimentario en esos lugares al O. 25° N. y buzan 75° al SO.

Cuando quedan cortadas por los diques hipogénicos, se interrumpe accidentalmente tal arrumbamiento y entonces corren al O. 45° N., pero pronto se restablece la dirección precedentemente anotada. Se observan algunos asomos blanquecinos de granito descompuesto que definen los cerros o rasgas de los montículos eminentes, consecuencia de la presencia de esta roca hipogénica. Caolinizados aparecen estos diques en el camino, donde las pizarras metamórficas corren al O. 30° N. Córtalas alguna veta de cuarzo blanco, que no merece ser considerada como indicio filoniano. Van luego al O. 20° N. y son verticales; después se comban y se ven abundantes vetas de cuarzo; corren al O. 30° N.

A 100 m. al Norte de la casa de las Retocillas, corre al O. 15° N., un grueso filón de cuarzo, blanco, compacto, de un metro de potencia, que encaja en la pizarra satinada, azulada, plomiza, cenicienta, otras veces gris clara.

Hacia la junta de los ríos Varas y Matapuercas, por la cuesta de la Palanca, se repiten observaciones análogas; en esa junta es donde aparecen las series hipogénicas meridionales y se halla una curiosa formación de amianto, cuyo examen merece un detenido estudio. En el itinerario en cuestión, las pizarras asoman algo combadas, cortadas por algunas fallas, alternando repetidas veces dichas pizarras con las grauvacas.

Otro tanto puede agregarse con relación a los itinerarios realizados al Oeste de la indicada cuesta de la Palanca, por el río Varas arriba y por el arroyo de la Marquesa, en la ininterrumpida serie de las pizarras azuladas o verdosas que definen el subsuelo de la región objeto de estudio, en la que no se han hallado vestigios filonianos que merezcan ser objeto de mención en este lugar. El rumbo general de esas pizarras parece ser el O. 30° N., alternando constantemente con grauvacas o areniscas metamórficas.

VILLANUEVA DE CÓRDOBA. BARRANCO DE LOS POOS.—Bajando de la loma de la Alcarria al río Matapuercas, se hallan en el alto, en terrenos de don Esteban Rodríguez Silva, los vestigios de tres reconocimientos mineros, donde se investigó el plomo en un criadero que encaja en el granito. En aquella zona, las labores mineras más importantes son las del barranco de los Poos, sobre un filón norteado, encajado en la formación granítica, que corta el río Matapuercas y en cuyo yacimiento el mineral investigado debió ser el cobre.

Por todos aquellos lugares los restos filonianos son sumamente abundantes; elementos de cuarzo que siguen con profusión por la zona de contacto del hipogénico y del sedimentario, la cual discurre por la dehesa comunal de Adamuz, donde las pizarras aparecen cortadas por su-

cesivos diques graníticos, con tendencia a la interstratificación.

Un filón de cuarzo asoma por la eminencia, arrumbado al SO., a unos 300 metros al Este del camino real de Villanueva de Córdoba a Adamuz, por el cual, hacia el primero de los pueblos citados, se extienden ampliamente las arenas procedentes de la desintegración del granito.

INMEDIACIONES DE LA VENTA DEL PUERTO.—La serie granítica se extiende ampliamente por las inmediaciones del Escorial del Rey, donde no hay accidente alguno topográfico digno de especial mención. Sigue así por la loma del Caballero y por las caídas del arroyo del Valle; al Sur se prolonga hacia la loma de la Higuera. En el granito también se halla la rápida depresión que desde la loma del Caballero ha de seguirse para alcanzar el camino de Montoro a Villanueva de Córdoba, por la venta del Puerto.

Por allí las arenas procedentes de la descomposición de esa roca hipogénica ocultan frecuentemente la infraestructura, pero aquí y allá afloran algunos apófisis entre las tierras de labor, al Norte de la venta del Puerto, cuyo eminente cerro se define, como todos los similares que limitan al mediodía, la mancha granítica de Los Pedroches, a expensas de la alternancia y reunión de los estratos pizarreños por los diques hipogénicos.

Al subir hacia esa eminencia, asoma un recio crestón de cuarzo, que se arrumba al O. 30° N., blanco lechoso, apareciendo entre los apuntamientos de los canchales graníticos. A unos 100 metros escasos de la cúspide aparecen las pizarras verdosas, que corren al O. 25° N., buzán en el alto 60° al SO. y alternan con bancos y diques de granito sucesivos. Después se ven algunas vetas de cuarzo entre esas pizarras micáceas; luego corren las rocas metamór-

ficas sedimentarias al O. 30° N., y entre ellas se ve un dique de granito amarillento intercalado y otros elementos de granulita; más abajo hay restos de cuarzos filonianos sueltos y algún crestoncillo interestratificado. Otro crestón de cuarzo corre al O. 45° N.

Abundan más al Sur, al Este de las Retocillas, las vetas de cuarzo. Hay allá los restos de una venta derruida y asoma el granito en bolos, viéndose asomos de pizarra a continuación; rocas en la que encaja un filón cuarzoso arrumbado al N. 30° E. y seguidamente otro asomo granítico descompuesto, siguiendo las pizarras alternantes con las areniscas metamórficas. Otro asomo de granito potente queda al Norte de la casa del Sevillano; en la continuación de ese dique hay una fuentecilla ferruginosa en el arroyo Fresnedoso.

Un filón de plomo se dice que pasa por la llamada venta del Fresnedoso, donde se hicieron distintas labores en una vega que allá define el arroyo. En realidad no hay indicios superficiales que permitan asegurarlo así y, en cuanto a las labores, se trata de excavaciones que llevaron a cabo investigando un supuesto tesoro, según los antecedentes que hemos podido recopilar.

La sucesión de tales asomos petrográficos determina un terreno pobre y monótono, que se extiende hasta la Junta de los Ríos de Varas.

RÍO MATAPUERCAS, VENTA DEL PUERTO, ARROYO DEL VALLE Y ARROYO FRESNEDOSO.—En todo el itinerario al Norte de la casa de las Retocillas se extienden las pizarras y las tierras derivadas, en las que abundan los elementos de cuarzo procedentes de las vetas de esa sustancia, que cortan aquellas rocas o aparecen entre ellas interestratificadas; en general, corren al O. 20° N. Sobre una de esas vetas,

a poco más de un kilómetro de aquella casa, se ve, al Este del camino de Villanueva de Córdoba, una rafa de ocho metros de longitud por uno de anchura, sin interés alguno desde el punto de vista que nos interesa.

Siguen a las pizarras de pátina pardusca, gris verdosas otras, que se extienden ampliamente en la bajada al arroyo o río Matapuercas; todo es análogo e igual. Otro tanto se repite, por lo que hace a las observaciones, al remontar la corriente del Matapuercas, donde se ven alternar con las pizarras algunas grauvacas, manifestándose generalmente una preponderancia al buzamiento septentrional.

Al O. 20° N., corren las pizarras en el Toril Blanco; son recias, azuladas, chiastolíticas, buzando al Sur 75°; no faltando los elementos sueltos de cuarzo en el terreno, viéndose una fuentecilla muy ferruginosa en las márgenes del río, al acercarnos al contacto del granito. Otras análogas se hallan a unos seis kilómetros al mediodía, en las márgenes del arroyo Fresnedoso. La primera se encuentra en la umbría del cerro Carboneras; es la llamada fuente de la Parra.

Subiendo al Norte de la venta del Puerto, a unos 100 metros de la corriente del Matapuercas, se encuentra una calicata de poco más de un metro de hondura, rellena, practicada sobre un filón que se arrumba al O. 35° N., el que parece que corre interestratificado, con 0,80 a 1,20 metros de potencia, constituyendo su relleno la pizarra azulada, con el cuarzo y carbonatos metálicos y ocre, de buen aspecto, desde el punto de vista minero.

A 350 metros al Norte de ese lugar se halla el granito, viéndose allí, en el riachuelo, la presencia de diques de esas rocas hipogénicas, que cortan las pizarras chiastolíticas y micáceas en las inmediaciones de aquel sitio, tan interesante desde el punto de vista geológico.

Por los altos del Este avanza el granito hacia la eminente cúspide de la venta del Puerto, debida, como se ha dicho, como todos los cerros que se arrumban al Sur de la penillanura granítica de Los Pedroches, a la reciedumbre de la asociación de las pizarras con los apófisis segregados de aquella masa endógena. Vese aflorar en este granito, al Oeste del camino de Villanueva de Córdoba a Montoro, un potente crestón cuarzoso, que corre de Norte a Sur, con un metro y, a veces, con dos metros de potencia. Más restos de relleno silíceo hay entre las tierras que continúan hacia el Este y hacia el alto de la loma que allá se define, demostrando la presencia de formaciones a este último rumbo análogas a la antes citada. Al menos un yacimiento cuarzoso, encajado en el granito, manifiesta sus indicios en el camino de Montoro.

Descendiendo ahora hacia el arroyo del Valle, aparecen vetas de pegmatita y de granito muy turmalinífero, señales de la posibilidad de encontrar por esos lugares yacimientos de sustancias raras. Por el arroyo del Valle, de agrestes laderas, sigue el depósito de arenas, derivadas de la descomposición de granito y los canchales de dicha roca, quedando al Este el interesante castillo de Sibulco.

Ya frente a la casa de Valdepeñoso se presenta el contacto del hipogénico con el sedimentario, representado por pizarras metamórficas, cruzadas, en las cercanías del referido contacto, por abundantes diques de naturaleza análoga a la de la roca del batolito fundamental de Los Pedroches, los cuales aparecen casi paralelos a la línea del citado contacto geológico. Allá, al Este, se encuentra una excavación en la que ha quedado al descubierto un criadero, en donde la pirita arsenical acompaña a otras sustancias que deben investigarse.

Pasada esa zona de mayor metamorfismo, las pizarras corren al O. 30° N., conservándose esa dirección a medida que avanzamos por el arroyo del Valle, hacia el Sur. Sin embargo, no faltan algunas dislocaciones en esta parte, particularmente algunas plegaduras; continuando así por el arroyo de Martindientes, que seguimos, viéndose allá algunos elementos de cuarzo entre las pizarras filadiosas azuladas, que siguen arrumbadas al O. 30° N., con tendencia de buzamiento al mediodía, preferentemente. Allí, en la margen del Sur, se hallan algunos veneros, debiendo de anotar uno ferruginoso, viéndose en las cercanías de éste ciertas vetas de cuarzo, interestratificadas en las pizarras.

Hacia los altos del Sur alternan las pizarras con las grauvacas, por la casa de Juan Serrano, asomando después por el camino de Adamuz el granito, de formas redondeadas, en la fuente de Don Miguel; diques que continúan hacia la casa del Sevillano. Las pizarras, después, corren al O. 20° N., una vez que se restablece su arrumbamiento normal, apareciendo con la facies típica del Culm. Hacia el Sur se ven en ellas muchas fajas de cuarzo blanco, y aun alguna veta de esa sustancia, transversal a la estratificación.

Esa serie pizarreña sigue extensamente por las márgenes solitarias del arroyo Fresnedoso, en donde se halla la venta de ese nombre, ya citada, apareciendo, a veces, algo astillosas en su textura hacia la Gallega.

LOMA DE LA HIGUERA. SIBULCO. —En la serie granítica se notan algunos restos de filones en la fuente de la Higuera; allí hay una vetilla pegmatítica que corre al O. 20° N.

También se ve mucha turmalina en el granito inmediato al castillo de Sibulco.

CONTACTO DEL GRANITO EN LA LOMA DE LA HIGUERA.—Un potente filón de cuarzo corre por el alto de la loma de la Higuera, hacia el llamado cerro del Mirador, cuya eminencia se define, en parte, a sus expensas; su rumbo parece ser al N. 5° O.; la potencia varía de 1,50 a 3 metros, llegando aun a cuatro metros; sus restos cubren al Oeste, en la rápida depresión a Valdepeñoso, media hectárea de terreno.

Se encuentra el contacto del granito y de la pizarra determinando, como siempre, la eminencia meridional, que aquí es la citada del cerro del Mirador. El sedimentario se halla allí definido por las pizarras rojizas micáceas, y en ellas sigue el filón, viéndose sobre el mismo una labor antigua, de 10 m. de larga, en rafa, y recogiendo en el vaciadero correspondiente abundantes restos de cuarzo, cuarcita, granito, aplita y pizarra pintada de malaquita. Al Este asoma el granito, ya en un dique de los paralelos al contacto, y en el bajo se practicó un pequeño socavón hace unos 40 años, hoy rehundido, que seguía al N. 10° E., abierto sobre un filón de cuarzo con mucha pirita arsenical, que tenía 35 cm. de potencia en la entrada. Del vaciadero que hasta él llega, y que procede de la anterior labor, dicen que se recogieron algunas muestras de galena. Otro resto de labor antigua se halla a unos 400 m. al Sur, en el cerro de Enmedio, habiéndose reconocido allá restos de galena, encajando el yacimiento en la pizarra

Al Oeste siguen las manifestaciones análogas a las ya tantas veces citadas en el contacto del hipogénico y del sedimentario. A unos 200 m. del arroyo del Valle se halla un filón que corre a cortar la pizarra, en el que se abrió una calicata de dos por tres metros, apareciendo ésta, toda ella, sobre el yacimiento, que está relleno por recio cuarzo, pirita arsenical y elementos, al parecer, de sales

de níquel y, acaso, de bismuto; corre el criadero de Norte a Sur y, en las cercanías, hay unas pequeñas vetas de pegmatita.

Restos de cuarzo blanco, análogo al que se halla asociado con el volfram en las minas de esta clase, se han reconocido también en las cercanías.

INMEDIACIONES DE LA LOMA DE LA HIGUERA, HACIA EL ARROYO DEL VALLE.—Al subir desde la loma de la Higuera hacia el Puerto de la Aguja, se ofrecen las alternancias del hipogénico y del metamórfico, frecuentes en esos parajes. Se ven restos de aplitas y micacitas, que corren al O. 25° N., y buzan 45° al Sur. Siguen pizarras metamórficas en las rápidas caídas, y abajo, al Este, en el arroyo de Cebrián, hay un socavón sobre una veta de cuarzo, interestratificada, que corre al O. 25° N.

Los itinerarios de Ruedaorzas al arroyo de Martindientes y al del Valle, siempre se siguen en las pizarras monótonas.

CARRETERA DE MONTORO A CARDEÑA. LOMA DE LA HIGUERA. Desde el caserío de los Eucaliptus o de Isasa, en el kilómetro 18, hacia el N., se observa una ininterrumpida serie de pizarras, alternantes a veces con algunas grauvacas verdosas y areniscas metamorfizadas; corren al O. 20° N., y pasado el kilómetro 19, al O. 30° N., viéndose entonces abundantes vetas de cuarzo, al parecer interestratificadas. Mas la observación del caso de la huerta del Abad nos hace proceder con precaución en esta afirmación, ya que allí, como se verá, el ángulo según el cual los filones cortan a las pizarras es muy agudo.

Siguen todo análogo, hasta la casa de Peones Camineros, del kilómetro 20, viéndose de nuevo más asomos de

cuarzo antes de alcanzar el kilómetro 21. Antes de llegar a él, si se sigue al Oeste por la vereda al río Arenoso, queda al Norte un recio canchal de granito, existiendo allí cuatro labores mineras muy antiguas en una mina de cobre, y donde modernamente se hallaron vetas filonianas muy ricas, interestratificadas, con volfram y scheelita, siguiéndose excavaciones muy superficiales sobre cuatro crestones paralelos; las pizarras allá están sumamente metamorfizadas y tienen abundantes cristales de chialtolita. Estas minas son las del cerro Retamoso.

Las pizarras con vetas de cuarzo aparecen en las márgenes del Arenoso, y monótonas e iguales siguen al Norte y al NE., al pie del cerro de la Encinilla, límite del contacto del granito y de la pizarra, donde hay otras labores de que después nos ocuparemos. Corren esas pizarras, de crestas parduscas, al O. 30° N., por el arroyo de Cebrián, donde las corta, o sigue interestratificado, un filón que al parecer va al N. 30° O., de relleno de cuarzo sucio. Por los altos de la Encinilla asoman los canchales de granito.

Al acercarnos a la gran mancha hipogénica de Los Pedroches, las pizarras sufren algunas dislocaciones; corren de Este a Oeste, ya O. 20° N. después, apareciendo algunos leves asomos de granito descompuesto, pasando aquéllas a ser verdaderas micacitas, aumentando la potencia de los diques endógenos aflorados y penetrando ya definitivamente en la mancha granítica principal, que se extiende monótona por los bajos de la casa de Cebrián. Vense en el mismo contacto, como es corriente, algunos asomos de vetillas de pegmatita.

Otra veta de cuarzo, ya en el granito, corre al N. 45° E.; abundan los restos de aplitas y granulitas y allí mana un venero con lapa ferruginosa. Sobre el granito se extiende la loma de la Higuera.

En el Hoyón de la Encinilla hay muchos villares y restos de un poblado.

Al parecer, se hallan estas labores antiguas sobre tres crestones que corren al O. 25° N., distando los extremos unos 200 metros. En el Norte se ven dos calicatas, y otras labores hay al Este del río Arenoso, entre él y la carretera de Cardeña, las cuales deben corresponder a esa formación; corre allí un criadero orientado al N. 35° E. En el central, de los tres primeramente citados, hay una labor antigua: otras labores modernas hay en el más meridional, filón que viene a pasar hacia la Sortija del Arenoso y que acaso se corresponda con las labores antiguas en el yacimiento de cobre indicado en el cerro Retamoso. Esas labores son las de «La Estrella».

En la carretera de Cardeña, siguiendo al Norte por el kilómetro 21, se hallan diferentes asomos de granito que corresponden a los vistos en la mina «La Méndez», de cerro Rematoso, y entre ellos aparecen las pizarras dislocadas y algunas vetillas de cuarzo. Pasado el kilómetro 22, aparece otro dique hipogénico importante, y en ese kilómetro es de anotar un asomo gredoso pizarreño, análogo al de la mina «Lápiz», de la carretera de Andújar, kilómetro 26 de la misma, en Los Rasos, y la serie de vestigios de antiguas fundiciones que se hallan en El Escorial.

Al Norte, siguen los canchales graníticos y aparece un crestón de cuarzo de un metro de anchura, que se corresponde con los de «La Estrella», y viéndose al NE., en los altos del cerro, una labor por volfram. Las pizarras pasan a ser verdaderas pizarras micáceas en el kilómetro 23, donde abundan extraordinariamente diques hipogénicos; se ven algunas vetas de pegmatita turmalinífera, y siguen los canchales graníticos al Norte, al kilómetro 24 y a Cardeña, apercibiéndose, a lo lejos, el crestón rojizo de un yaci-

miento, indicado en el granito del río Arenoso a este rumbo, análogo al que anotaremos en Valcerradillo, y viéndose encajadas en la citada formación endógena, hacia Las Mañuelas, otras manifestaciones de filones cuarcíferos, ferruginosos, cupríferos y plumbosos.

HUERTA DEL ABAD AL CASERÍO DE LOS EUCALIPTUS DE ISASA, EN EL KILÓMETRO 18 DE LA CARRETERA DE MONTORO A VENTAS DE CARDEÑA.—Se extiende una ininterrumpida serie de pizarras que se arrumban de promedio al O. 30° N.; a veces alternan con vetas de cuarzo interstratificadas; otras vetas se ven intercaladas entre las litoclasas.

CARRETERA DE MONTORO A VENTAS DE CARDEÑA.—Desde el kilómetro 18 hacia Montoro se suceden una serie de asomos de pizarras, algo plegadas a veces, y con intercalaciones de vetas de cuarzo; corren al O. 30° N., siguen así desde el kilómetro 18 hasta pasado el kilómetro 14, en donde aparecen las mesas triásicas y miocenas.

DESDE LA CUESTA DEL JARRAGUTE A LA HUERTA DEL ABAD. Asoman las pizarras y calizas impuras con crinoides, en la separación del camino de Cardeña con aquél; corren al O. 30° N. Siguen al Norte, donde hay una pequeña mesa de cascajo derivado del conglomerado del Triás, y continúa la pizarra con cuarzo, azulada, en la bajada al N.

A media cuesta se halla la boca de un socavón rehundido, abierto sobre una veta de cuarzo, por medio del cual se investigó el plomo; se arrumba al S. 15° O., en tanto que las pizarras verticales corren al O. 20° N.; son esas pizarras, azuladas, negruzcas, filadidas. Otro socavón se halla en el bajo, en cuyo vaciadero se observan algunos elementos cuarzosos.

Siguen las pizarras por el río Arenosillo arriba, primero algo plegadas, luego más próximas a la vertical, arrumbadas al O. 30° N.; continúan al Norte monótonas, abundando mucho las vetas de cuarzo blanco a medida que nos aproximamos a la huerta del Abad, donde radica el grupo minero «San Francisco», en cuyas inmediaciones aparecen vetas distintas de granito muy descompuesto y corren las pizarras al rumbo citado, al O. 30° N.

HUERTA DEL ABAD. LA ONZA.—Al Norte de la mina «San Francisco» se han anotado las afloraciones de cuatro filones, que parecen arrumbarse de Este a Oeste, en tanto que la pizarra corre al O. 30° N. Estos filones, pues, aparecen casi interstratificados, por lo que pasaron inadvertidos durante mucho tiempo.

En ellos, aunque escasas, hay algunas labores antiguas y un crestón de granito, de 10 metros de anchura, encaja entre las pizarras cuajadas de cristales de chialolita, apareciendo verticales y rojizos los crestones de estas pizarras. Un crestón recio de ellas, silicificado en parte, acaso filoniano, corre al O. 15° N., viéndose casi confundido con él un potente afloramiento de cuarzo; y una enorme cantidad de chialolita que se observa entonces en las pizarras, nos hace presumir la existencia en las inmediaciones de rocas hipogénicas. Otro resto de un filoncillo de cuarzo interstratificado queda aún más al Norte.

Al Oeste de la Chaparrera se ven restos de cuarzo y de pegmatita turmalinífera, habiéndose indicado la presencia del volfram y practicado al efecto diferentes calicatas, persiguiendo el hallazgo de las concentraciones de este rico mineral. Al Este del camino viejo de Montoro a Ventas de Cardeña, se hallan las labores de la antigua mina «Perseverancia», consistentes en distintas calicatas y rafas

abiertas sobre filones de volfram en el contacto del granito turmalinífero, en tránsitos a una pegmatita con la pizarra metamórfica; labores que se extienden a partir del regajo al Oeste, al camino citado de Montoro, en unos 400 metros de longitud, y al Este de ese regajo en 150 m., viéndose aún una alineación paralela a la determinada por tales afloramientos y labores, a unos 10 a 30 metros de distancia al Norte, que también se exploró buscando el volfram; sustancia que, como siempre, aparece pintando el cuarzo, blanco lechoso y sumamente recio.

A unos 100 metros más al Norte, se halla una serie de labores antiguas de importancia, en cuyos extensos vaciaderos se encuentran restos de granito algo porfídico, que alternando con la pizarra, intensamente metamorfozada, determina el subsuelo de la zona que estudiamos en esta parte; restos de pizarra azulada y cuarzos filonianos, se hallan también con mucha abundancia en aquellos vaciaderos, arrumbándose las labores al O. 15° N., pasando de una docena los restos de grandes excavaciones, rafas y pozos, que se extienden en una longitud de 250 metros, habiéndose encontrado en ellas minerales de cobre y vestigios de los de plomo.

Esas labores antiguas siguen a enlazar con las anotadas en el arroyo de Valmayorejo, cuyas aguas se envían hoy a Montoro, y con otras sitas aun más al Este, hacia los altos del arroyo Martín Gonzalo.

Por el Norte, entramos seguidamente en la mancha granítica que sigue por el caserío de la Onza a enlazar con el itinerario que después se anotará.

HUERTA DEL ABAD AL RÍO Y MINA DE VALCERRADILLO.— Al Oeste de la mina «San Francisco», corren al O. 20° N., las pizarras azuladas, verticales; y al Sur del camino a

Valcerradillo se hallan distintas labores sobre un filón paralelo a los explotados en aquella mina, o sobre uno análogo. Un hermoso filón corre allá al N. 40° E., de recio y rojizo crestón, formado por el cuarzo y la pizarra, con vetas blanquecinas carbonatadas.

Al Oeste del río Arenosillo se hallan otros minados a pie del contacto de la pizarra con el granito, correspondiente a un filón encajado en las pizarras con mucha chialolita. Antes de llegar a aquel riachuelo, corre de Norte a Sur un crestón rojizo pardusco, que corta limpiamente la pizarra, ya que ésta se alinea al O. 20° N. Al Oeste del Arenosillo y en sus mismas márgenes, se halla un viejo socavón, labor minera que acaso investigó la posible continuidad de alguno de los yacimientos de la mina «San Francisco». Allí, como en el socavón, sigue de Este a Oeste la pizarra, con vetas de cuarzo que al parecer están interestratificadas. Al Norte, en el regajo, se observa un asomo filoniano, determinado por las gredas y el guijo interestratificados, alternando la grauvaca con la pizarra.

Ya, aquí, el metamorfismo es más intenso y las pizarras pasan a ser verdaderas micacitas. Otras veces se ofrecen en bloques durísimos, en que la estratificación se perdió; sumamente silíceos, negros y relucientes, como los vistos en la fuente de la Lancha.

Los diques de granulita, con turmalina y volfram, asoman en recios canchales al Norte; al Sur de ellos hay una excavación muy antigua, romana al parecer, con la que se investigó el cobre.

Asoma la pizarra chialolítica, con cobre, al Oeste, de análoga manera a como sucede en el arroyo citado de Valmayorejo, encontrándose tal afloramiento al Sur de la corrida en que se halla la labor romana indicada, corres-

pondiendo a una alineación paralela a aquel asomo de pizarras y cuarzos, con malaquita, piritita y azurita, en el que se ve que la formación cuprífera aparece próxima a la interstratificación.

La labor antigua a que nos venimos refiriendo, es una gran excavación de 20 metros de larga de Este a Oeste, por 10 metros de ancha de Norte a Sur, que aun se prolonga al Este, en rafa, en unos 10 metros y, al Norte, en un socavón rehundido, viéndose, al Oeste del regajo, un pequeño escarbadero, y al Sur, junto al arroyo, un pozo, en cuyo vaciadero, además de las muestras de cobre, se hallaron otras de volfram.

Los restos del relleno cuarzoso que aparecen en la gran labor, con abundantes huecos y geodas, son muy interesantes. Otro vaciadero por cobre se ve al Este del río Arenosillo; como dijimos, es otra demostración o enlace de esta serie de labores con las sitas al Sur de la Onza, en el arroyo Valmayorejo y en la Chaparrera.

Regresando al cauce del río Arenosillo, se corta éste de nuevo, siguiendo hacia el Norte el crestón de ese yacimiento de cobre, que aparece buzando al Norte unos 75°, y al parecer interstratificado. El contacto del granito se ofrece con las alternancias previas del hipogénico con el sedimentario, en la forma ya tantas veces enumerada. El arrumbamiento general es al O. 35° N.; el buzamiento al Sur.

Hay allá aplitas blancas y tránsitos pizarreños neísicos. Otro rumbo frecuente es al O. 30° N. Elementos y vetillas de pegmatita se ven en la Borna, ya en el arenazo derivado del granito, donde asoman sus canchales redondeados, azulados, pardusco rojizos, al Norte en algunas corridas, relacionadas con la presencia de yacimientos donde se ha reconocido el cobre y, más frecuentemente, el plomo en

esta parte baja; lo que parece ser confirmación de que en esta sustancia han de degenerar los yacimientos cupríferos de Pozoblanco. En Valcerradillo se encuentra un filón sobre el que se hallan ocho pozos antiguos, rehundidos en su mayor parte, rehabilitados recientemente algunos de ellos y en vías de rehundirse de nuevo en el momento.

Por lo que en los mismos quedó al descubierto, y también, en vista de lo que se aprecia en el socavón trazado en el bajo que pudimos visitar, estas labores se abren en las arenas procedentes de la descomposición del granito, que pasan insensiblemente a formar la roca hipogénica. Estos terrenos tan blandos se desmoronan y no aguantan labor alguna si no se fortifican convenientemente.

Se tiene allí una alineación arrumbada, al parecer, al N. 10° O., en unos lugares, y al N. 30° O., en otros, sobre un filón encajado en el granito. La rafa que se halla sobre dicho socavón tiene 10 metros y el socavón 20; al cortar éste el filón en dos puntos distintos, por traviesas de seis metros cada una, dirigidas desde el frente, se rehundió en el cruce. En los vaciaderos se hallan abundantes carbonatos de plomo, en formas generalmente algo redondeadas; granito rojo, otro verdoso, algo violado, todo él en tránsitos a arenas.

A lo lejos de una raspa por donde el yacimiento sigue al NO., se ve que está determinado por un crestón de granito rojo, granudo arenoso, y más al Norte hay otro análogo.

Al Este del Arenosillo y al SO. de la Onza, en las minas colindantes al Oeste con la de «San Francisco», se hallan algunos crestones filonianos al Norte del itinerario seguido; corren, uno al N. 25° E., otros de Este a Oeste, al E. 35° N., y de Norte a Sur alguno.

Al SO. de la mina «San Francisco», las pizarras apare-

cen cortadas por numerosas vetas de cuarzo, en ángulos muy agudos, como se ha visto que es la regla para los yacimientos allá encajados. En esa forma, el número de alineaciones que pueden contarse en ese itinerario, en una distancia de poco más de un kilómetro del perímetro de esas concesiones, es de unas cinco; fuera de las que como tales se reseñan en la parte dedicada a la observación del terreno en que se halla esa serie de concesiones.

VENTA DEL CHARCO. LA ONZA. MONTORO.—La serie granítica de la penillanura de Los Pedroches, ya aquí puesta al descubierto por la erosión que avanza desde el Sur, dejando a la vista la alternancia en la constitución y en la dureza de la roca hipogénica infrayacente, se extiende al Oeste de la venta del Charco hasta el viejo camino de Ventas de Cardena a Montoro, y, al Sur, por éste, hacia la Onza.

Como siempre, aquella eminencia define el contacto de las dos formaciones: la hipogénica y la sedimentaria. Hacia ella sigue el camino arenoso. Al ascender, en la llamada fuente del Soldado, en el granito y el pórfido, como aquél muy rojizo, corre un filón al N. 20° E., cuarzoso en su relleno.

En el alto hay un dique porfídico rojizo, y un yacimiento filoniano se arrumba en dicho lugar al N. 30° E., sobre el cual se hallan dos labores antiguas, en rafa, de unos 10 m. de longitud cada una, unidas en sus extremos; viéndose en los vestigios de la explotación pretérita elementos de pórfidos rojizos, otros de cuarzos del relleno, pintos de galena argentífera y algunos cristales de piritita de cobre.

Algún asomo cuarzoso de ese criadero sigue viéndose al Sur, en el camino, encajado en el pórfido rojizo. Las labores antes observadas acaso sean ibéricas. Otras labores

viejas se hallan al Norte de la casa de la Onza, en el cerro de las Flores; en ellas se capta el agua que se conduce a Montoro. Al Sur de la citada casa, y por el camino que seguimos, continúan los asomos de granito hacia la Chapparera. Al subir un suave declive aparecen los primeros asomos de pizarra, sumamente metamorfizados, recios, verdosos, micáceos. Corren al O. 30° N., y se repiten esas alternancias en la rápida bajada al mediodía, apareciendo algunos elementos de pegmatitas, y viéndose los trabajos superficiales que consignamos al Este y al Oeste, y en los que, como se dijo, se investigó el volfram y donde se realizó alguna explotación de esa sustancia.

Luego prosiguen las pizarras, y en ellas se observan dos asomos de crestones filonianos que se arrumban al N. 20° E., apareciendo aún otros pequeños diques del hipogénico granítico en la zona que cruzamos antes de llegar a las cabezadas del arroyo de la Cuesta. Siguen las pizarras extensas, monótonas. Otro asomo hipogénico hay en Las Jaboneras, otros le siguen, y las pizarras, después alternantes con algunas grauvacas, se extienden monótonas hacia el Barranco Hondo. Otro tanto sucede desde allá hasta la Cuesta del Jaragute.

MONTORO. CARRETERA DE CHARCO NOVILLO. CARRETERA DE VILLA DEL RÍO A VENTAS DE CARDEÑA. LOS RASOS.—Desde Montoro a la carretera de Villa del Río se ve que el Triásico de esa zona, definido por areniscas rojas y pudingas, y con numerosas perforaciones de *Pholas*, demostración de que estuvo cubierto por el mar terciario, sólo está formado por una capa superficial, apareciendo en las vaguadas del Martín Gonzalo, del Corcomé, y en las profundas y normales al Guadalquivir, las pizarras infrayacentes paleozoicas, que desaparecen bruscamente al Sur de aquel río

principal de Andalucía, en confirmación de la falla por donde él discurre.

Estos hechos se observan hasta salir a la carretera de Villa del Río, la cual corre por el lomerío que separa las corrientes del Corcomé y del río de las Yeguas, y en cuyas trincheras se van cortando lechos horizontales del Mioceno, suprayacentes a los de las areniscas rojas triásicas, que, a veces, ofrecen un suave buzamiento al Sur.

Entre los kilómetros 12 y 13 quedan sólo las pizarras paleozoicas infrayacentes, que se extienden monótonas, al Norte, por la carretera de Andújar a Villanueva del Duque, la cual enlaza con la de Villa del Río. Estas pizarras corren al O. 25° N., apareciendo con numerosas vetas de cuarzo, correspondiendo esta abundancia con la presencia de zonas ferruginosas intercaladas entre la serie estratificada, que sigue ofreciendo combaduras y pliegues. Particularmente esos trastornos se aperciben en el enlace de las dos últimas carreteras de referencia, donde las pizarras corren de Este a Oeste.

Esas plegaduras se observan bien por los kilómetros 20 y 21, apareciendo después verticales las pizarrillas, que son más deleznable. En el kilómetro 23 se observa un dique de granito, que interrumpe, cortando, las pizarras; le siguen al Norte otros dos, ya en la zona de la mina de volfram «La Sorpresa», cuyas labores se divisan en este itinerario en la falda del cerro de los Cabezos y en sus inmediatos, el del Vidrio y el cerro Cornejo. El granito allá cortado aparece sumamente descompuesto, transformado casi por completo en arena. En los asomos del kilómetro 24, al pie de la citada mina de volfram, se observa que este granito es de tipo muy porfídico, rojizo.

En esta porción de terrenos coincide la aparición de

esas rocas hipogénicas con la presencia de una serie de vetas de cuarzo.

Al Norte del kilómetro 24 hay otro asomo de granito, y por la casa de don Diego del Río se prolonga la formación de las pizarras, que se arrumban al O. 15° N.

LOS RASOS. LAS MORENAS. CAMINO DE NAVALAMOHEDA A MARMOLEJO.—Las pizarras y las grauvacas se extienden al Este de la casa de los Rasos de los Cabezos, también llamados cerros de las Tres Cabezas, que son: el Cabezas, del Vidrio y Cornejo, por la característica con que se ofrece aquella eminencia. Hacia el arroyo del Moral todo es igual y monótono; corren los terrenos estratificados al O. 30° N., dislocándose las pizarras por la dehesa de los Españares, en el Cbrahigo, apareciendo plegadas y después arrumbadas al O. 20° N.

Al NE. de la fuente del Moral, en las márgenes del arroyo de ese nombre, hay asomos hipogénicos, que siguen a las piedras del Baratillo o Bolos del Baratillo, nombre que dan los naturales a aquel asomo, por el carácter redondeado con que esas rocas aparecen, debido a la acción erosiva. Se trata de elementos de un pórfido granítico, notable por los grandes cristales de feldespato que, a veces, pasan de 10 cm. de longitud. Al rumbo Norte siguen las pizarras al O. 30° N., y a unos 750 m. emerge otra cadena de diques graníticos.

Asoma el último en los altos de Las Morenas, y al Sur siguen las pizarras por el camino de Marmolejo, desde donde se divisan al NE. los canchales, que aquella faja hipogénica define por la falda de la eminencia hacia el río de las Yeguas.

Al Sur, por el itinerario seguido, se suceden las pizarras azuladas en la misma forma que se ha anotado en la

carretera de Andújar a Villanueva del Duque; van al O. 25° N. y al O. 45° N.; se comban y, al Este y al Oeste, se repite la periodicidad de estas alternativas. Hay alguna gruesa veta de cuarzo que sigue aquellos rumbos, con 75 cm. de potencia; y al NE. de la casa de Cachinero aparece la faja de los granitos, vistos entre los kilómetros 23 y 24 de la carretera de Andújar, que pasando por el cerro Cornejo vienen a aflorar aquí. Es como aquél un granito amarillento, descompuesto, se define en dos corridas, y al Sur de la citada casa aun se aperciben otros asomillos en correlación con el arrumbamiento antes fijado.

Siguen las pizarras al O. 20° N. y al O. 30° N.; un crestón de cuarzo blanco lechoso corta entonces la serie pizarreña, arrumbando al O. 20° S., que aparece en el camino con 1,50 m. de potencia, y desapareciendo después.

Por el bajo continúa el río de las Yeguas encajonado en las pizarras azuladas, cuyos crestones siguen a la casa del Piruetanal, alternantes con las grauvacas; al Sur de la cual aun se aperciben las pizarras, plegadas sucesivamente, que ya en la casa de los Miñones aparecen cubiertas por el Triásico.

Por el arroyo Fresnedoso se repiten las mismas observaciones. Al Oeste, en la carretera de Andújar, se extienden por los altos del Mosquil las plataformas del Triásico y del Mioceno, y en el kilómetro 18 aparecen las pizarras paleozoicas con las características y alternativas que precedentemente fueron anotadas.

«LA SORPRESA».—Al Sur de la casería de los Rasos, de don Diego del Río y Muñoz-Cobo, se halla la mina «La Sorpresa». Hemos dicho que en la carretera aparece la sucesión de diques hipogénicos y bancos del sedimentario, metamorfizados intensamente, que en su lugar fueron

bjeto de atención. Las pizarras aparecen cortadas por una serie de vetas de cuarzo, que en general se han alojado entre los lechos de esa roca y en las numerosas litolas por que aparece cortada, como consecuencia de los fenómenos de plegadura.

Los materiales porfídicos son a veces de tipo granulítico, viéndose en los elementos numerosos cristales de anidino. Las labores donde se halló el volfram se encuentran dispuestas entre dos diques graníticos, donde la turalina ha reemplazado a la mica, pero ésta no ha desaparecido por completo; esas pizarras hay que clasificarlas como micacitas metamórficas.

LOS RASOS. VEREDA DE PUERTO ASEADO. ESPAÑARES. CARRETERA DE ANDÚJAR A VILLANUEVA DEL DUQUE.—Otro itinerario para cortar la serie pizarreña, hecho a occidente de la carretera de Andújar a Villanueva del Duque, nos lleva a conclusiones análogas a las indicadas precedentemente.

En la prolongación al Oeste de los diques graníticos istos en «La Sorpresa», se halla la fuente de Orán. Por el Sur siguen los asomos pizarreños, que corren al O. 20° N., viéndose abundantes vetas de cuarzo interstratificadas en el arroyo Corcomé, junto a la casa Blanca. Esas vetas, con 12, 30, y aun alguna con 50 cm. de potencia, se aperciben en la subida al Oeste a la vereda de Puerto Aseado.

Hacia el Sur siguen al O. 30° N., con vetas de cuarzo, hacia la casa de Baranda y a la de la loma del Chaparro, donde comienza el célebre olivar de Montoro, y en donde queda el Paleozoico tapado en las mesas por el cascajo procedente de la desintegración del conglomerado triásico.

Hacia el Norte, la sucesión de los bancos de pizarras alternantes con otros en tránsitos grauvaqueños es monótona. En Los Rasos del arroyo Corcomé se encuentra una

excavación en el camino de Puerto Aseado, y aparece un crestón, que corre al N. 30° O., relleno de cuarzo, poco interesante. Siguen las pizarras parduscas en el camino, que aparecen combadas, y hay alguna veta de cuarzo interestratificado, con unos 30 centímetros de potencia, blanco, lácteo.

Desde allá se apercibe que al Oeste del cerro del Vidrio disminuye mucho la potencia de los diques graníticos que allí se mencionaron; sin embargo, un asomo de formas redondeadas se ve en las márgenes del arroyo Corcomé, otros hay en el camino y continúan hacia la depresión del arroyo Martín Gonzalo. Siguen más diques de esa misma roca, que parecen arrumbados al O. 45° N., en tanto que el arrumbamiento general es al O. 30° N. Otro asomo hipogénico es de un pórfido microlítico rosado.

Continúa la serie monótona de las pizarras más al Norte, entre ellas aparece un filón de 80 cm. de potencia, de cuarzo interestratificado, sumamente recio. Al Oeste se ve, que los asomos hipogénicos que enumeramos, rebasan la corriente del Martín Gonzalo, y siguen definiendo asomos claros que contrastan con la espesa capa de la vegetación verde de las jaras, que anotamos al pasar el camino de la Onza a Montoro.

Ahora, el buzamiento dominante de las pizarras es de 75° al Sur; alternan con algunas areniscas cuarcíticas, que en tránsitos a cuarcitas definen el cerro del Barco, donde se arrumban al O. 20° N., viéndose allá, al NO., un crestón de potente dique granítico, que es la continuación del anotado en los Bolos del Baratillo. Este granito, alternante con los pórfidos rosados y las pizarras metamórficas, define la cresta en donde se halla la llamada cueva de los Aviones, labor minera de la que nos ocuparemos.

Al Sur de ella corren al O. 25° N. las pizarras, que al-

ernan con algunos bancos de esas rocas graníticas, viéndose en el sedimentario una gran cantidad de cristales de hiastolita, que corresponden al metamorfismo que introdujo la roca endógena. Algunos elementos de dicha pizarra aparecen allá digeridos por la roca hipogénica, en confirmación de que la edad de ésta es posterior a la del sedimentario.

Al O. 30° N. corre el granito porfídico rosado en la cueva de los Aviones, que es uno de los socavones que se encuentran en la misma orilla del arroyo Martín Gonzalo. Se trata en total de cuatro socavones, que parecen dispuestos sobre un yacimiento de carácter pirítico cuprífero, arrumbado al O. 30° N.; es decir, interestratificado en el contacto del pórfido con las pizarras, pero en el que se observan algunas vetas de enriquecimiento, dirigidas al O. 35° S. Otras labores, siguiendo la primera dirección, se encuentran en terrenos de la Onza, al Oeste del arroyo de Martín Gonzalo, entre el Laurel y la umbría de Navalamuela. Al parecer se trata de un yacimiento del tipo de los señalados en las minas «Tres Amigos» y «Nerekayola», del término de Montoro, sitas en Garci Gómez. La anchura de la zona donde las labores se hallan, en las cercanías de Martín Gonzalo, es de unos ocho metros.

Las pizarras y más asomos de pórfido y de granito, interestratificados al parecer y metamorfolizando intensamente las pizarras, se prolongan al Norte de la cueva de los Aviones. La potencia total del dique de la expresada cueva es de unos 35 metros.

Ahora, siguiendo por la vereda de Puerto Aseado hacia venta del Charco, se suceden las manifestaciones de las acciones endógenas y los crestones de las rocas metamorfolizadas en el contacto con aquéllas. Las correspondientes a la silicificación son muy intensas. El rumbo general de

esos crestones y de los diques hipogénicos es al O. 20° N. No faltan por allá algunos restos de aplita.

Cada vez ganan terreno las manifestaciones de la roca endógena y faltan los asomos del sedimentario, más intensamente metamorfozados, penetrando definitivamente en las tierras arenosas, a menos de un kilómetro de la casa de Españares, por donde ya no se interrumpen los canchales de granito.

Pasado el kilómetro 30 de la carretera de Andújar a Villanueva del Duque, hacia el Sur, siguen los asomos de granito descompuesto, y seguidamente de nuevo se presentan las pizarras, cortadas por diques sucesivos hipogénicos; en conjunto se han señalado, en el plano que acompañamos a este trabajo, no faltando en aquel contacto y en sus inmediaciones la presencia de algunas vetas pegmatíticas.

Al principio las pizarras parecen sumamente metamorfozadas, buzan después al Sur, y acaban por hacerlo finalmente al Norte. En el kilómetro 29 asoman inclinadas al Sur; aun se ve un crestoncillo de granito antes de llegar al Contadero, y siguen las pizarras por el kilómetro 28, apareciendo a continuación otro asomo de granito; después se extienden las pizarras. Vense después algunos otros asomos de granito descompuesto entre las pizarras, al Norte de la casa de los Rasos de los Cabezos.

LOS RASOS. BOLOS DEL BARATILLO. LAS MORENAS. NAVALAMOHEDA.—El itinerario a Los Bolos del Baratillo y a Las Morenas, en el camino de Navalamoheda, ya se ha descrito en lo anterior. Ahora vamos a indicar algunos antecedentes siguiendo un itinerario al Norte, hacia Navalamoheda, desde Las Morenas.

Se ven, en el paso del dique granítico de Las Morenas

y del kilómetro 27 de la carretera de Andújar a Villanueva del Duque, manifestaciones de materiales análogos a los puestos al descubierto en la mina «Lápiz», de la última. Por el camino de Navalamoheda siguen las pizarras al O. 30° N., y en el contacto con un dique de granito, sin mica, que aparece al Norte y que da lugar a la eminencia de Las Morenas, se hallan pizarras negras con cuarzo; aquéllas dejan traza sobre el papel. En ellas, hay una calicata de pocos metros, rehundida.

Siguen los granitos alternantes con las pizarras gris azuladas; al Este se hallan otras labores rehundidas en las que se investigó el cobre. Por el Norte, en el camino, siguen las pizarras chialíticas; se ven también algunas formas redondeadas de granito. Después, al subir hacia Navalamoheda, hay una serie ininterrumpida de alternancias, de diques de granitos y de pizarras metamórficas, cubiertas materialmente por la chialita; corren al O. 20° N.

En el alto se halla un minado muy antiguo, en la pizarra azulada lustrosa, en el contacto con el granito, y sigue el pórfido esquinado, amarillento, en el arroyo. Aquel minado se limita a un resto de vacie, sin poderse precisar si corresponde a un pozo o a otra labor; en este vacie se ven restos de pizarras azuladas con cuarzo y algunos vestigios de mineral de cobre.

Algún asomo de pizarras corre al O. 20° N.; luego, las tierras lo ocultan todo y hay muchos restos de cuarzo en las mismas; después continúan las alternancias de las pizarras y de los diques de granito hasta las casas de Navalamoheda, hacia donde abunda más, en aquellos altos, el material sedimentario.

Allí, al Oeste de la casa de Méndez o de Melchor Bajo, entre las pizarras micáceas en tránsitos a verdaderas mica-

citas, corre al N. 45° E. un recio crestón silíceo cuarzoso, sobre el cual hay diferentes labores al Norte y al Sur; aparece con una potencia de 40 centímetros, relleno por el cuarzo, con algunas pintas de mineral de cobre cortando las pizarras. Otro rumbo parece ser al N. 30° E., y al Norte del camino, y al Oeste de la casa citada, se hallan dos labores, viéndose, al parecer, algún indicio de pintas de galena.

Al Sur aparecen diques graníticos entre las pizarras, y en el arroyo del Valle de las Minas se observan los restos de un socavón rehundido y tres grandes labores, particularmente la que creemos que corresponde a una enorme rafa o explotación a cielo abierto, que está dispuesta sobre un crestón o yacimiento arrumbado al N. 20° E. Aun más al Sur, a unos 600 metros de distancia, se hallan otras dos viejas labores, ibéricas acaso, en las que se recoge algún martillo de piedra.

Las pizarras asoman al Sur de la gran labor a cielo abierto, en el contacto con el granito, corren al O. 20° N., y en el socavón rehundido que allí existe buzan al Sur 75°, viéndose litoclastras que se inclinan 80° al Norte. Esa rafa principal, en relación con las otras excavaciones, parece definir un rumbo al N. 30° E.; tiene unos 40 metros de longitud, observándose que el relleno filoniano, por el vaciadero y por los restos que del mismo se conservan, está constituido por el cuarzo blanco, siendo el ancho de esa labor citada de unos 10 metros, quedando el granito porfídico, a veces, al Norte de la misma. En el vaciadero, con la pizarra, se recogen abundantes restos de malaquita.

La mina sita al Este de Las Morenas, y al SE. de la anterior, se halla en el llamado Boquete de Las Morenas; hay allí un largo socavón y un pozo al final, en la pizarra, con

malaquita y calcopirita en el vaciadero. También tiene plomo.

Al Oeste de las labores del Valle de las Minas siguen las alternancias del hipogénico y del sedimentario hasta el arroyo del Cuezco. Al Este del arroyo Fresnillo hay una vieja boca de mina en las pizarras, que al SO. aparecen cortadas por el granito. Se ha señalado esta mina como de mineral de cobre. Al O. 20° N. parece que se establece el arrumbamiento general en aquella zona, y al N. 30° E. se arrumba el filón vertical que encaja en el porfido rojo, definiéndose, al cruzarlo, una formación en «stockverck». No aparecen en el vaciadero elementos pintados por la pirita; la rafa abierta es de unos 20 metros de longitud y de 4 a 12 metros de hondura.

Al Norte, en el barranco del Cuezco, se hallan otros minados que son la continuación de los anteriores, conservándose la dirección del criadero, al Oeste del kilómetro 30-31 de la carretera de Andújar a Villanueva del Duque. Particularmente se halla aquí una rafa y el vaciadero correspondiente, y después se aperciben otras tres labores que definen un rumbo de Norte a Sur, buzando el yacimiento al Este 75°, encajando en el granito porfídico rosado, viéndose dos vaciaderos más al Norte del arroyo en cuestión.

En el intermedio de ellos se corta en nuestro itinerario un grueso crestón de cuarzo, correspondiente al filón. Siguen las micacitas al NO. y seguidamente los canchales de granito normal y el arenazo derivado. En el contacto se aprecian algunas vetas de pegmatita y, otras, al Norte, donde ese contacto del granito queda más lejano.

NAVALAMOHEDA. POSADA NUEVA. ARROYO ALMADENBOS Y RÍO DE LAS YEGUAS.—Las alternancias de las pizarras meta-

mórficas y de los asomos hipogénicos se repiten en los itinerarios llevados a efecto a cualquier rumbo desde la casa de Navalámoheda, y particularmente en el que sigue hacia Posada Nueva. Allí aparece un vaciadero importante, muy viejo, que se halla sobre la pizarra, orientada al O. 30° N., en relación con otro menor, situado a unos 50 metros de distancia, en tanto que por el mismo un crestón de cuarzo corre al N. 30° E., con elementos análogos a los vistos en el vaciadero hallado al seguir el itinerario de Las Morenas o Navalámoheda, y anotado precedentemente.

Continúan los diques de granito y pórfido, acribillando a las pizarras en la bajada hacia el arroyo del Acebuchar y de los Almadenejos. Al Este del cual un socavón, una rafa, y los vestigios de dos antiguos pozos, definen una alineación al N. 30° E., en una corrida de unos 200 metros en total.

Se ven los indicios de otros tres yacimientos paralelos a los anteriores, en donde las labores antiguas son numerosas e importantísimas, así como los vestigios que aquellos primitivos mineros dejaron en esos vaciaderos, restos de construcciones y de sus útiles de piedra. Algún resto de cobre nativo hemos hallado en ellas.

Las pizarras y el granito se orientan al O. 20° N.; y otros rumbos que se pueden tomar para estos yacimientos son los de E. 45° N. y el de E. 20° N., en la gran rafa que aparece en el interior y hacia el bajo del arroyo de los Almadenejos. Se reconocen pintos de cobre y otros de plomo en aquellos extensos vaciaderos, y labores en rafa, en pozos inclinados y otros, que se extienden en unos 750 metros, siendo cuatro los filones con labores antiguas que se ven en medio kilómetro de anchura. En las labores del filón principal, al Norte, en la parte alta del cerro, existe un pozo inclinado, con unos 60 metros de hondura, apare-

ciendo allá diques de granito que parecen casi interestratificados en la pizarra, como se ha indicado en lo que precede.

Continuamos por la vereda de Valdelobos, por las alternancias de la pizarra y el granito, que desaparece al bajar al Sur. Los granitos, al Este, definen las caídas al río de las Yeguas; en la Mesa de Valdelobos un filón, con un metro de potencia, corre al N. 30° E.; la pizarra se arrumba al O. 20° N. Esas alternancias se repiten hasta llegar a la casa de Posada Nueva, en las márgenes del río de las Yeguas, y de nuevo se van cortando por el camino a las Solanas del Esparragal y Cuerda de la Loma de los Venados, donde, en las pizarras y los granitos, se halla la llamada mina de Cachinero.

En ellas, del Este al Oeste, y en 250 metros de distancia, se hallan un pozo medio hundido y algunas labores antiguas, pozos y galerías, que han puesto al descubierto una mina de plomo y cobre, que antes se llamó la mina «Esmeralda», de la que luego nos ocuparemos. Particularmente merecen citarse dos pozos gemelos en una vieja labor de 15 metros de hondura, muy antigua, que fué seguramente puesta al descubierto en la última época de trabajo de esta mina. Ese minado se halla a unos 100 metros del río.

Regresamos al Atalayón del Judío, donde se encuentra un potente crestón de cuarzo traslúcido, de hasta ocho metros de potencia, y donde se halla una mina de volfram. Se ven allá distintas labores sobre esa enorme veta de cuarzo, y otras laterales; hay mucha turmalina.

NAVALAMOHEDA. ATALAYÓN DEL JUDÍO. CERRO DEL ABANRO.—Los itinerarios de Navalámoheda al Norte, y al vértice geodésico de Brezorrubio, ponen de nuevo al descu-

bierto la constitución del subsuelo de aquella eminencia, definida por la colada de los apófisis graníticos entre los estratos pizarreños. La elevada loma de Navalámoheda se debe a esa causa.

Claramente queda determinado así en los itinerarios anteriores e igualmente en el itinerario seguido por la senda de la Bornia. En Brezorrubio hay un yacimiento de pirita arsenical, en donde se ha anotado el volfram. Entre el Atalayón del Judío y el cerro del Abanto, en las Chorri-llas, se ha indicado el cobre en un criadero, sobre el que se abrió una calicata, en un minado viejo.

Antes de llegar por la senda de la Bornia al contacto del granito, al batolito de la emisión del Valle de los Pedroches, se apercibe la profusión de diques que alteraron intensamente las pizarras; y asimismo la presencia de asomos de pegmatitas turmaliníferas. Después, los canchales de granito y las tierras arenosas se extienden, amplias, hacia Ventas de Cardeña.

ITINERARIO POR LA VENTA DEL CHARCO AL CONTACTO DEL GRANITO CON EL SEDIMENTARIO, POR LA CARRETERA DE ANDÚJAR. Sin interrupción, sigue el granito desde la venta del Charco al kilómetro 30, al Este a la choza de Picardías, que se halla en los altos y al Oeste del Saltadero de Ventijas.

ALDEA DEL CHARCO A NAVALAMOHEDA.—Siguiendo por el carril de Vuelca-Carretas se suceden sin interrupción los asomos de granito entre las tierras arenosas. Allá se explotaron, en los altos del arroyo de Cañada la Rosa y en las inmediaciones del carril de Cabras Quemadas, varias calicatas, sobre vetas cuarzosas con volfram.

Sigue el granito descompuesto por los altos del arroyo del Cuervo y por la divisoria establecida por los eminentes

cerros de Brezorrubio, Navalámoheda y el Atalayón del Judío. Al subir a ella alternan los diques porfídicos con los bancos de pizarras micáceas y de verdaderas micacitas, viéndose que corre de Norte a Sur un filón de cuarzo, y otras vetas de esta sustancia se arrumban de Este a Oeste.

Antecedentes que nos facilitan los yacimientos explotados y explorados en la zona

Los antecedentes de juicio que han quedado expuestos, consecuencia de la observación llevada a efecto sobre la extensa superficie a que se refiere este estudio de yacimientos minerales, precisan quedar al margen de los resultados que hasta el momento llevaron consigo los trabajos mineros efectuados en la zona.

Incidentalmente se han reseñado algunos detalles a este propósito, que gracias a las visitas realizadas a las minas en actividad en el momento, a los antecedentes que posee la Jefatura de Minas de Córdoba, y a los que nos han facilitado algunos propietarios de concesiones mineras, pueden ser completados, y como consecuencia llegar en último término a deducir las circunstancias generales de los criaderos que ahora nos preocupan.

Yacimientos reconocidos y explotados en la zona del río Gato al río de las Yeguas

Los antecedentes consignados son un indicio para deducir acerca del porvenir de la serie de yacimientos minerales que se han anotado en la región objeto de nuestra

observación. Pero en ella misma se exploraron o explotaron en los tiempos modernos algunos criaderos, y los datos que nos facilitó tal laboreo pueden servirnos para emitir una opinión acerca del resultado probable que pudieran seguir los trabajos análogos, llevados a efecto sobre los filones que yacen de una manera semejante.

A este efecto, bueno es recordar aquí los dispositivos que afectan los distintos yacimientos, reconocidos en nuestras investigaciones sobre el terreno, que aparecen señalados en el plano de la región geológica del contacto de las zonas graníticas y sedimentarias; plano que acompaña a este trabajo.

Minas de «La Estrella»

Radicales en el Hoyón de la Encinilla, pertenecen al grupo de filones que en apariencia discurren a unos centenas de metros del contacto del hipogénico y del sedimentario, paralelamente a la referida línea geológica. Los antecedentes que anotamos proceden en parte de una memoria debida a Mr. E. Fachan, que trabajó dichas minas.

Las labores realizadas fueron de reconocimiento. Consistían principalmente en dos traviesas, una de 42 m. y otra de 100 m., un pozo interior de 30 m. y 250 m. de galerías en traviesa y sobre filón; estas últimas dirigidas de Este a Oeste en los distintos pisos.

Con estos trabajos se ha encontrado un filón de cuarzo perfectamente caracterizado, con una potencia variable de 1,20 a 2,80 m., mineralizado por las piritas de cobre, siendo la metalización reducida, variable de 2 a 60 centímetros.

El mineral extraído de esta mina en distintas fechas era

e una ley en cobre que se elevaba del 27 al 35 % Cu. Sin embargo, en la estadística minera de 1911 aparece la mina «La Estrella» en marcha, trabajando en ella 14 obreros, in máquinas de extracción; la producción fué de 10,8 toneladas de mineral; el precio de la tonelada a boca de mina de 70 pesetas, y el valor total de la producción de 756 pesetas, y la ley del mineral de 18 % Cu.

En opinión del citado Mr. E. Fachan, esa ley primeramente consignada debe continuar en la mina «La Estrella» de una manera constante, «pues el mineral extraído en la mina «Tres Amigos», sita al Este, en Garci Gómez y arroyo de las Liseas, que se halla sobre el mismo filón de la mina «La Estrella», es de análoga naturaleza. Lo que se halla corroborado por los trabajos antiguos que se distinguen en la superficie, lo suficiente importantes para definir el interés que ofrece este filón». Dicho filón corta la carretera de Montoro a Ventas de Cardeña, entre los kilómetros 22 y 23, observándose la continuación al Este de aquella vía.

El afloramiento, de un metro de potencia, está coloreado por el sulfato de cobre, y al triturarlo con el martillo deja patente el sulfuro de ese metal en el interior; más lejos aún lo corta un filón crucero, importante, de óxido de hierro al parecer.

El filón de «La Estrella» forma además parte de un sistema de filones principales, que se dirigen sensiblemente de Este a Oeste, y que presentan las características de metalización al S. 50° O.

El examen de la superficie ha facilitado interesantes resultados.

Al Norte, especialmente, ha estudiado dos filones, lindando con la masa granítica: el primero, sobre la orilla derecha del Arenoso, visible desde la carretera de Monto-

ro a Ventas de Cardeña. Ha seguido dicho filón en una distancia de tres kilómetros. El afloramiento está compuesto de hierro y cuarzo.

A los filones cruceros, igualmente cuarzosos, de dirección Norte a Sur, los cubre el óxido de hierro en mayor cantidad, también en los cruzamientos. A esos puntos es adonde deben llevarse las labores cuando se reanude el trabajo sobre el filón. Este se halla muy bien caracterizado al Oeste de la montaña, y se le sigue con la vista en una gran distancia.

El segundo filón de contacto se halla en el kilómetro 24 de la carretera de Montoro a Ventas de Cardeña, y tiene una dirección general de Este a Oeste. Se ha extraído del mismo calcopirita.

Al Sur del filón de «La Estrella», y a una distancia aproximada de 400 m., ha examinado el filón llamado de la mina «Castelar», del cual ha extraído minerales de sulfuro de plomo de hoja grande, análogo al de la región de Linares y La Carolina.

Los trabajos antiguos indican también en esta parte la corrida del filón «Castelar». Funcionó una pequeña fundición con los productos de este yacimiento, y junto a la carretera de Montoro se halla el escorial de aquélla.

Sobre este último filón, pero más al Este, es donde la mina «San Francisco» ha establecido su explotación, según Mr. E. Fachan, que visitó los trabajos de esta última mina, los cuales alcanzan, dice, la profundidad de unos 300 m., y donde el mineral explotado es la galena.

Más al Sur todavía, se encuentra otro filón relleno por el cuarzo, entre los kilómetros 21 y 22 de la carretera de Montoro a Ventas de Cardeña, el cual es paralelo a los filones de «La Estrella» y de «Castelar». Está muy caracterizado en el exterior, por la abundancia de los óxidos de

hierro, y entre el cuarzo, golpeando con el martillo, se observa:

- 1.º Arsénico.
- 2.º Arsénico compacto y cobre.

Analizadas las muestras de este filón deben contener cierta cantidad de oro, pues está cercano a dos filones de mispíquel del Sur, cuyas muestras han dado en el análisis 18 gramos de oro por tonelada.

Noticia acerca de los trabajos de la mina «Tres Amigos»

En octubre de 1912, en la mina «Tres Amigos», de Montoro, los trabajos correspondían al primer período de investigación; produjo alguna cantidad de mineral, que dió a los expresados trabajos un carácter de explotación simultáneo, aunque de escaso beneficio.

Los trabajos subterráneos tienen acceso por un socavón emboquillado en la margen derecha del arroyo Curandero.

Es una labor de nivel sensiblemente horizontal, abierta en el despegue de las dos formaciones, pizarrosa y granítica, cuyo contacto aparece mineralizado, comprendiendo un criadero que podemos llamar filón de contacto. Su dirección es de O. 32° N.; el buzamiento al Sur de unos 50°. El relleno está formado de impregnaciones de galena, calcopirita y pirita de hierro. La metalización presenta máximos de unos 10 centímetros y el conjunto resulta ser un mineral complejo difícil de clasificar. Su ley máxima de un 30 % de cobre, y los trozos más puros pueden llegar a un 70 % de plomo.

La expresada labor irregular, o socavón, alcanza unos 70 metros de longitud, y en su primera mitad tiene una calderilla de reconocimiento de unos diez metros de

profundidad, la cual lleva, en el piso, mineral. En la segunda mitad, cerca del frente, se ha emboquillado otra calderilla. Labores de mayor importancia, a más hondura, fracasaron por completo.

Mina «Nerekayola»

Paraje Garcí Gómez y arroyo de Liseas. La mina se compone de 43 hectáreas. El centro de la concesión dista del kilómetro 22 de la carretera de Montoro a Cardaña 1,5 kilómetros por lo accidentado del terreno, y de Montoro a su estación hay dos kilómetros. La formación geológica es la de las inmediaciones del contacto del granito y el carbonífero, zona muy trastornada y rica en esta provincia de yacimientos metalíferos.

Los filones corren próximamente de Este a Oeste y cortan la pizarra. El mineral explotable es el de plomo, bajo forma de galena, acompañado del sulfuro de cobre, calcopirita, también de buena ley, que acaso desaparecerá en profundidad.

El número de filones que existen en la concesión, ya reconocidos por esos minerales, son tres, a más de otras vetas y venas cuarzosas abundantes en la pizarra, y que en las inmediaciones del contacto geológico con frecuencia pinta el volfram, las que se ven hacia el límite Norte de la concesión.

Describiremos los tres filones principales siguiendo de Norte a Sur. El primero debe pasar por la mina «Londinense», cruza el arroyo Liseas, donde ha sido cortado por una pequeña labor hecha en el verano de 1912, en dicho arroyo, viéndose con una potencia de más de cuatro metros, separado en dos partes por una faja de pizarras.

Este se eleva la Morra de San Antón, hacia la cual, na labor en socavón sobre dicho criadero ha de ganar 150 metros de desnivel como mínimo. Este filón tiene una corrida en la mina «Nerekayola» de más de 700 metros. El registro hecho sobre él dió ejemplares de cobre y carbonatos de mucha riqueza, y la metalización total del filón, a menos de medio metro de profundidad, pasa de ocho centímetros.

Segundo filón. Es el que se trabaja en la mina «Tres Amigos», las labores de la cual caen dentro de la mina «Nerekayola», casi en su totalidad. El filón buza al Sur y ha sido reconocido a unos 15 metros de profundidad, encontrándose hermosas metalizaciones de hasta 25 centímetros para un metro de anchura de caja de mina. El yacimiento tiene en la mina «Nerekayola» 200 metros de corrida por un lado y 500 metros por otro; se extraen de él minerales de cobre y de plomo, como se ha dicho precedentemente.

Tercer filón. Es el más interesante del grupo; en él están los trabajos de las antiguas minas del grupo «Castellar» y «Gran Cervantes»; corre en 500 metros sobre la mina «Nerekayola».

Mina «San Francisco»

A las notas que se consignan precedentemente en los itinerarios hay que agregar otras.

Acusó el mineral en el análisis 85 % Pb y 400 g. de Ag en tonelada. Abunda en la mina la pirita de hierro, y alguna de cobre en los afloramientos. Se ve pirita de hierro, con cierta abundancia, en primera planta y en el socavón que en el día se adelanta con objeto de reconocer la mina.

Alguna blenda hay en el filón, a los 200 metros de profundidad.

El pozo principal, pozo «Kruger», tiene 234 metros. Detrás de la casa de las oficinas la pizarra vertical corre al O. 30° N. y al N. 30° O.; sigue un dique de granito y un filón, en el que se ha arrancado plomo, buzando al Sur 75°, al parecer. La pizarra tiene mucha chistolita.

En la mina se conocen y han explotado, en parte, cuatro filones; al O. 30° N. corren en ellos las pizarras azuladas. Al Norte, de Este a Oeste, corre otro filón de cuarzo blanco, viéndose allí hasta tres afloramientos de diques graníticos. Las labores antiguas son escasas; sin embargo, se han visto restos de viejas fundiciones.

En la actualidad, en el socavón en trabajo se observa explotada la columna del primer filón, que con unos 170 metros de longitud se ha seguido hasta la 9.ª planta en profundidad. Otra de 11 m. de longitud, con cinco centímetros de metalización, se ha puesto ahora al descubierto.

Con el socavón que se trabaja en el día se han reconocido y explotado cuatro filones, explotados en vertical, primeramente, por labores cuyo vaciadero se apercibe; más al Norte se halla el filón llamado de la Cantera, por existir una en las pizarras, para obtener el material necesario a este fin que se persigue con el socavón en cuestión. Otro pozo de unos ocho metros está abierto sobre un filón de cuarzo sin mineral, que se encuentra a 500 m. al NNE. del pozo principal de la mina «San Francisco».

Los filones reconocidos por esta galería del socavón ofrecen grandes variaciones en su potencia, ya que ésta fluctúa de pocos centímetros a uno y dos metros.

El filón más septentrional de los indicados en la mina se halla a 250 m. al Norte del pozo «Kruger». Es un filón relleno por el cuarzo blanco, definido por vetas blancas

restratificadas en la pizarra, que corre al O. 25° N. y e buza al Norte.

OBSERVACIONES EN EL SOCAVÓN PRINCIPAL DE LA MINA. — Escorta las pizarras en su boca, que corren al O. 20° N., verticales, análogas a las de la citada mina «Lápiz», de la ladera de Andújar a Villanueva del Duque, en el kilómetro 26-27.

A 22 metros de la boca hay una veta de arcilla negra, e corre al O. 10° N. A 33 metros de la boca se halla un filón explotado que corre al O. 15° N., de unos tres metros potencia, donde los arranques llegan hasta la 9.ª planta, como se ha dicho.

Sigue la pizarra y algunas vetillas de cuarzo en ella: a 39,50 metros hay más vetas de cuarzo con pirita, verticales, algo plegadas. A 50 metros hay un banco de cuarzo con manchas parduscas, debido a la pirita. A 75 metros de la boca grandes bancos de pizarras azuladas. A 87 metros, algunas arcillas y pizarras arcillosas, en una zona que se encuentra.

A 100 metros de la boca un filón corre de Este a Oeste, explotado hasta los 40 metros por el pozo «Maestro», del que dicen que sacaron unos dos vagones de galena. Allí la pizarra sigue vertical, corre al O. 25° N., córtala claramente el filón, vertical, con 75 cm. de anchura, relleno de detritus pizarreños.

A 117 m. de la boca aparece una veta de cuarzo inrestratificada, y siguen las pizarras, duras, recias, azuladas, que buzan ahora al Sur 75°. A 120,30 m. se ven numerosos restos de cuarzo y pintas de piritas, y al N. 30° E. parece que corre allí un filón, que a los 125 metros de la boca se ve con galena y calcita en el relleno. A 129,50 metros aparece un criadero de galena, arrumbado al O. 20° N.

y con galerías de dirección sobre el mismo, al Este, de tres metros. A los 135 metros se ve en la galería un filón crucero, que aparece con alguna calcita en el relleno. A los 150 m. hay, análogamente, otra veta de calcita. A los 155 m. un filón crucero corre al O. 15° N., con galerías al E. y al O., explotado desde la 2.ª planta hasta la superficie.

En dicho filón, al Este, a los 14,50 metros, hay una calderilla sobre ese filón explotado, con algunas zonas abandonadas que ahora se arrancan. En esas labores el yacimiento se arrumba al O. 20° S. Se ven allá, en un realce de rapiña, 20 cm. de galena, y en otros lugares 5 y 3 cm., y otras zonas emborrascadas, a ocho metros, bajo la planta del socavón en cuestión. Los lisos de ese criadero están bien marcados, a veces, con relucientes espejos. En la porción Oeste del socavón, en este filón, parece ser que hay menos cantidad de mineral. Sin embargo, una vetilla de galena aparece interestratificada en el frente.

Pudiera suceder que en ese yacimiento o yacimientos de la mina «San Francisco» nos hallemos con que existe realmente un criadero original, fundamental, que sea el que se ve después en el frente del socavón. En la porción del socavón de la culata aparecen las pizarras arrumbadas al O. 30° N., y buzan al Sur 80°, en tanto que el relleno del socavón, que estimamos sobre un filón definido, está compuesto de lisos calcíticos y piríticos, va al N. 35° E. A 183 metros, en el frente, se halla la calcita y piritas de hierro, y ese criadero ofrece buen aspecto. Se ven allí abundantes piritas de hierro y algunas de cobre.

ESTUDIO DE LA SUPERFICIE.—La zona de la superficie de la mina o grupo minero es también, por demás, interesante. A este efecto, a los datos antes consignados, se pueden agregar los siguientes:

Al SE. del pozo «Maestro», a unos 300 metros, hay un asomo granítico entre las pizarras, enrojecidas a causa de la proximidad geológica de la gran mancha hipogénica de Los Pedroches. Allá asoma otro filón, arrumbado al O. 30° N. Así se cuentan hasta otros cuatro asomos cuarzosos, que pudieran representar otros tantos filones, en el último de los cuales asoma otra apófisis granítica. Al Norte de la mina, en el contacto con el granito, hay algunas labores investigando el volfram. Al pie del socavón, en los antiguos cuarteles, hay al SO. del pozo «Maestro» otro asomo de granito, y en él he hallado una pinta de molibdenita.

NOTAS DE LAS LABORES DE LA MINA «SAN FRANCISCO», SEGÚN EL CUADERNO DE AVANCES.—Los realces se hallan en la planta 7.ª y en la 8.ª, a alturas de 18 y 20 metros sobre las plantas. En la 8.ª es la metalización escasa y de 0,12 centímetros en las dos más inferiores. En febrero de 1912 la mina se inundó, creo que debido a las lluvias; esto mismo ocurrió ahora recientemente, poco antes de nuestra visita.

El filón corta a las pizarras bajo un ángulo muy agudo y los lisos de estas pizarras se presentan en bancos muy bien definidos. En 1912 se consideraban agotados los realces de 8.ª y de 7.ª plantas. Una calderilla abierta en 8.ª planta, de 3,50 m. de hondura, tenía bastante mineral.

En octubre de 1912, en 9.ª planta, llevan un avance en dirección Oeste en estéril. En noviembre de ese año, hay algunas pintas de mineral en tales labores, que siguen en estéril a los 22 metros, en enero de 1913. Un realce se halla en la planta 9.ª, a los 114 m. al Oeste del crucero. Luego parece que a ese rumbo es probable que buzen las columnas metalizadas.

Esta zona de 9.ª es poco rica; un reconocimiento

en 7.^a planta al Oeste, a los 186 metros del crucero, siguió en estéril.

ACTAS DE LAS VISITAS DE POLICÍA MINERA.—Estas nos facilitan los siguientes antecedentes:

1905.—El pozo «Kruger» tiene 3,30 metros de diámetro y se halla a los 67 metros de hondura. A 40 y 60 metros las transversales desde él definen plantas; aquéllas son al Norte y al Sur, de 75 y 54 metros, cortando las del Sur, a los 19 metros, el filón n.º 1, que a esa hondura está explotado por los antiguos.

En la superficie se halla un socavón de unos 200 metros, que ha cortado los filones 1, 2, 3 y 4, sin que se haya practicado labor alguna en éstos. Todos ellos van al O. 8º N. y buzan 86º al Norte.

1906.—El pozo «Kruger» tiene una hondura de 126 metros, y hay plantas a los 60, 80, 100 y 125 metros.

1907.—El pozo «Kruger» tiene una hondura de 135 metros. Se han establecido las plantas 4.^a y 5.^a, a los 100 y 125 metros. La primera de ellas con 87 metros al Oeste y 18 metros al Este. La segunda con 54 metros al Oeste, y se realza en las mismas.

1910.—El pozo «Kruger» tiene 214,50 m., y se hallan plantas a los 145, 170 y 200 metros de hondura, que son las 6.^a, 7.^a y 8.^a. La 6.^a tiene al Oeste 104 metros, con dos realces, y la 8.^a tiene 116 metros al Oeste. Ningún trabajo hay al Este; la mina produce 50 toneladas de promedio al mes.

1925.—El socavón tenía 164 metros, es normal a las galerías de dirección que van sobre filón y que tienen una dirección de E. 23º N., e inclinación de 84º al Norte. La potencia reducida es de 4 a 5 centímetros, ensanchando y estrangulándose algunas veces; presentándose ensanches

25 centímetros, y otras veces sólo deja marcadas sus ellas por pegaduras de plomo sobre la caja, claramente lenada por las pizarras. La cantidad de agua que da la na «San Francisco» varía de 60 a 120 metros cúbicos en 24 horas.

gunas notas estadísticas de la producción de la mina «San Francisco»

1905.—Trabajan 50 obreros en la mina. Hay allí una águina de 15 HP. Produce 44 toneladas de galena. Precio de la tonelada a boca de mina, 77,70 pesetas. Valor de la producción, 3.418,80 pesetas. La ley del mineral es el 40 % Pb y 1.320 gramos Ag en tonelada de mineral. Los trabajos son de investigación y la profundidad máxima de 85 metros.

1906.—22 obreros, la máquina del año anterior. Produce 55 toneladas. Precio T. b. m., 222 pesetas. Valor de la producción, 12.210,00 pesetas. Un herido grave. La producción procede de las llaves de trabajos antiguos, a m. de hondura. La profundización máxima de esos trabajos es de 130 metros.

1907.—33 obreros. La máquina de los años anteriores. Produce 435 toneladas. Precio T. b. m., 100 pesetas. Valor de la producción, 43.500,00 pesetas; dos obreros muertos por accidente. El mineral con 72 % Pb y escasa ley en plata. La producción se envía a Cartagena.

1908.—36 obreros; la misma máquina. Producción, 289,5 toneladas. Precio T. b. m., 96,05 pesetas. Valor de la producción, 27.950,00 pesetas. Ley del mineral, del 72 % Pb y escasa ley en plata.

1909.—36 obreros; la máquina dicha. Producción,

de 315,5 toneladas. Precio T. b. m., 80 pesetas. Valor de la producción, 25.240,00 pesetas. Ley, el 72 % Pb.

1910.—54 obreros; la misma máquina de vapor. Producción, 740 toneladas. Precio T. b. m., 79,30 pesetas. Valor de la producción, 58.682,00 pesetas. Ley, 52 % Pb.

1911.—48 obreros. Dos máquinas de vapor con 33 HP. Producción de 360 toneladas. Precio de la T. b. m., 150 pesetas. Valor de la producción, 54.000,00 pesetas. Ley, de 54 % Pb.

1912.—28 obreros. Dos máquinas de vapor con 33 HP. Producción, 190 toneladas. Precio de T. b. m., 150 pesetas. Valor de la producción, 28.500,00 pesetas. Un obrero muerto y cinco heridos graves. Ley, 54 % Pb.

1913.—Los mismos obreros y máquinas que el año anterior. Producción, 23 toneladas. Precio T. b. m., 90,50 pesetas. Valor de la producción, 2.715 pesetas. Ley, 54 % Pb.

Notas sobre la mina del cerro de las Flores

Se halla esta mina en la Onza, a 720 m. sobre el nivel del mar, a 500 m. de la casería de la Onza; se demarcó como mina de cobre. El punto de partida es un pozo de forma irregular y de 3,50 m. de ancho. La formación geológica es la granítica. Queda próxima al contacto del granito con la pizarra, al Norte y a menos de un kilómetro de aquél. Un dique granítico rojizo aparece en las cercanías del punto de partida en relación con el yacimiento; aquel dique se arrumba de Este a Oeste, apareciendo con unos 20 m. de anchura en el camino de la Onza a venta del Charco y Cardeña. La potencia del criadero puede llegar a 1,60 m., como se ha visto en la que hemos llamado labor N.º 3; el relleno es esencialmente cuarzoso.

Las labores mineras son el punto de partida o N.º 1; el N.º 2, a 10 m. al Norte, y el N.º 3, a unos 100 metros al Este; los tres cegados, pero con abundantes vacies. Esto sin contar la labor vista en el camino de Cardeña y anotada en lo que precede, en los itinerarios de campo.

En el vaciadero del primer pozo se hallan abundantes elementos de galena argentífera y algunos pintos de calcopirita y piritita de hierro; por ese vaciadero es posible creer que se han hecho allá unos 30 m. de labor. Menores son los vaciaderos de los pocillos o calicatas N.º 2, quizá sobre otro yacimiento, así como el del pozo N.º 3, donde se ve un filón de cuarzo poco interesante. En toda la superficie se recogen abundantes geodas de cuarzo; acaso correspondan a ese criadero. Merecen citarse aquí las labores que se hallan en el arroyo de la Onza, cerro y umbría de los Escobares. Labores muy antiguas, por cobre al parecer, pero no de una manera segura, que se relacionan con las citadas en el lugar correspondiente a los itinerarios de campo que se llevan a cabo con motivo del trabajo presente.

Antecedentes sobre la mina «Esmeralda» y el registro «Diamante», n.º 2.331, sitos en Posada Nueva y río Yeguas, en el término municipal de Montoro

Según los antecedentes de una visita de Policía Minera, hecha en 1883 a estas minas, en la orilla del río Yeguas hay un socavón de unos 180 metros, según referencias, y antes un pozo.

Además del pozo dicho, dice el ingeniero, he visto una labor antigua de 10 metros, al NE. del segundo punto auxiliar y en ella un torno que facilita la bajada a un an-

churón antiguo, que no fué posible visitar, por estar todos los obreros ausentes, cuyas condiciones de seguridad no me parecen ajustar a la buena marcha minera. El personal, me dijo el guía que me acompañó, consiste en 20 hombres al interior y 4 al exterior, trabajando en busca de minerales de plomo y de cobre, al estado de galenas los primeros, y de carbonatos los segundos.

Esta mina es la vista junto al río de las Yeguas, en la zona SE. de Navalámoheda, en la dehesa de Posada Nueva, que indicamos precedentemente en nuestros itinerarios.

Según datos de un obrero que trabajó en esta mina, las labores llegaron a 56 metros de profundidad sin encontrar agua. La mina es de cobre y de plomo, y afirma ese testigo que se embarcaron dos vagones de plomo y cinco vagones de cobre. El mineral venía en bolsadas, siendo la potencia del filón variable de tres metros a 30 centímetros.

En 1883, según la Estadística Minera, producían mineral de cobre las minas «Esmeralda» y «Esmeralda 2.^a», del término de Montoro, y la «Purísima Concepción», del mismo, se hallaba en investigación.

Aquellas dos primeras, con 20 obreros, han producido en esa fecha 1.240 quintales métricos de cobre, siendo el valor del quintal métrico, a boca de mina, de siete pesetas.

Paran estas minas en 1884. En este año, la «Purísima Concepción» sigue en trabajos de investigación con seis obreros.

Síntesis de los resultados obtenidos con las labores mineras efectuadas en la zona del contacto del granito y la pizarra, al Sur de la mancha granítica de Los Pedroches y en el término municipal de Montoro

Nada concreto nos dicen los antecedentes que hemos expuesto para formar un juicio acerca del interés minero que ofrezca la zona objeto de nuestro estudio, desde el punto de vista de la explotación de los yacimientos de plomo y de cobre, que aparecen determinados por sus afloramientos, ya por los indicios de antiguas labores sobre ellos llevadas a efecto, en tiempos de los que no se ha conservado antecedente alguno de los resultados logrados, ya por las labores realizadas en ese sentido en la época actual.

Los datos que poseemos acerca de las labores realizadas en la «Estrella» y en la mina «Tres Amigos», en unión de los antecedentes concernientes a la mina «Nerekayola», no nos atraen por los resultados conseguidos. Se trata de yacimientos que tienden a presentarse interestratificados en la zona, ya que aparecen o con el rumbo medio de la línea del contacto del granito y de la pizarra paleozoica, o en el contacto de ésta con algunos de los diques numerosos o apófisis de tipo granítico que se disponen en conjunto, también paralelos al contacto en cuestión.

En este mismo sentido hemos de inclinarnos al considerar el yacimiento del cerro de las Flores, en la Onza, que se arrumba, como hemos manifestado, de Este a Oeste, es decir, en una dirección análoga a la señalada por los anteriores. Y mayor si cabe es esta analogía considerando que ese es el rumbo igualmente de los diques

porfídicos rojizos que allá se mencionan, encajados en la gran mancha granítica. Rumbos que equivalen para las consideraciones genéticas a aquellos mencionados, interestratificados o con tendencia a ese dispositivo en la región meridional de las pizarras.

Los trabajos realizados en la mina «Esmeralda», de tan antigua fecha, si los unimos al resultado de la observación personal sobre el terreno, particularmente dada la importancia de las labores antiguas que se hallan en esta explotación, nos ofrecen el caso de un yacimiento que corta la serie estratificada, pero a pequeño ángulo y con tendencia manifiesta a seguir el rumbo que los diques marginales de la gran mancha granítica imprimen al conjunto, en paralelismo con el tantas veces aludido contacto del hipogénico y el sedimentario.

Es muy interesante esta zona de Navalámoheda en que se halla esa antigua explotación, en unión de otras a que aludimos en su lugar.

Región que difiere acaso bastante de las que se han considerado en los capítulos anteriores, donde el cobre figura como la sustancia principalmente explotable, pero asociado francamente al plomo, en una zona, que, dada la región a que alcanzaron las manifestaciones endógenas y dado el entrante que hace el contacto del hipogénico del Valle de los Pedroches y del sedimentario, al Este de la carretera de Andújar a Villanueva del Duque, nos obliga a considerar que nos hallamos, desde el punto de vista geológico, en un lugar donde la cobertera del magma granítico se ha conservado, y está representada por esa porción sedimentaria, acribillada más que otra alguna, por la serie de apófsis, de naturaleza idéntica a la de la penillanura granítica.

Según esto, podrían tales yacimientos indicarnos de

na manera análoga lo que deba ocurrir en las exploraciones en profundidad, realizadas hacia el contacto meridional de la referida mancha granítica; sólo que en esa manifestación, de ser cierta nuestra hipótesis, que emitimos con todas las reservas consiguientes, aquí se nos ofrecerían en orden inverso las sustancias minerales a como se han de manifestar al alejarnos del batolito granítico.

La abundancia del cobre en estos criaderos acaso está en concordancia con la serie de los granitos porfídicos rojizos, que se ofrecen en aquel lugar, lo mismo que sucede en el término municipal de Pozoblanco y en sus intermediaciones.

El yacimiento de «San Francisco» se encuentra también en la zona del contacto geológico citado; pero aquí el mineral es sólo el plomo, aunque la pirita de hierro aparece en relación con los afloramientos, y siempre hay que considerarla como un mineral accidental. Entonces, los apófsis que asoman en las cercanías, corresponden a un granito propiamente dicho, que está sumamente descompuesto, pero conservándose muy bien sus elementos granudos, que no nos dejan lugar a dudas; contrastando con los materiales rojizo-porfídicos, en relación con los yacimientos más cupríferos, como se ha anotado.

Los yacimientos del grupo «San Francisco» aparecen casi estratificados con la pizarra o cortándola a ángulos reducidos. Obedecen, por lo tanto, al tipo que ha sido objeto de trabajos de investigación en la zona, en estos últimos tiempos, entre los que sólo el de Posada Nueva, ya citado, tiende a cortar más claramente las pizarras y los diques hipogénicos que corren al par de ellas.

Las labores sobre aquel yacimiento o yacimientos de «San Francisco» han reconocido la presencia de cuatro zonas metalizadas sucesivas, que se han cortado con un

socavón normal a ellas; en el cual, arrumbado al N. 35° E., se ofrecen, en la zona puesta al descubierto, rellenos normales a la dirección de las pizarras, que por los elementos que los integran, cuarzo, calcita y piritita de hierro, a los que acompaña a veces el plomo, pudieran ser el indicio de un yacimiento que siguiera una dirección análoga a la serie de criaderos del grupo de Alcaracejos-Villanueva del Duque, que se hallan en el mismo lugar geológico, en la misma disposición por lo que se refiere a la génesis de los criaderos encajados.

A este efecto hemos de hacer notar que es verdaderamente curioso que se unan a tales manifestaciones, observadas en el criadero de la mina «San Francisco», la presencia de columnas ricas, paralelas y simétricas, en las cuatro vetas metalizadas que se cortan por el socavón citado, que, contra lo que parece lógico, no se han reconocido en longitud, parándose siempre los trabajos al empobrecer esas columnas en dicho sentido. A este efecto no puede tampoco echarse en olvido que, en las inmediaciones aparecen, al Oeste particularmente, crestones llamativos, del tipo de los observados en la región occidental del río Gato, normales a las pizarras.

Hay, pues, dos hechos que estimamos como fundamentales en el caso de las investigaciones y labores mineras llevadas a cabo en esta zona del término de Montoro: que las investigaciones se han realizado sobre filones interestratificados o que cortan a ángulos muy agudos a las pizarras paleozoicas, y, en segundo término, que en esas exploraciones siempre han quedado al descubierto zonas metalizadas o indicios de las mismas, pero en ningún caso se hallaron extensiones de esta índole que ofrecieran un brillante porvenir en su explotación.

La más importante de esas exploraciones, la de la mina

«San Francisco», aun no ha llegado a ver definitivamente resuelto cuál ha de ser su porvenir, y eso que no puede negarse, ante la vista de sus realces, que nos hallamos en un lugar en que se reúnen indiscutibles circunstancias en pro de que aquel porvenir sea brillante.

Comparación de estos resultados con los elementos de juicio que poseemos gracias a los antecedentes de la explotación del grupo de Alcaracejos-Villanueva del Duque

En el contacto del granito de la mancha de Los Pedroches y de las pizarras marginales, se hallan, como hemos dicho, la serie de explotaciones de los grupos mineros de Alcaracejos-Villanueva del Duque, así como las que nos ocupan en el momento; las demostraciones de yacimientos análogos, que antes merecieron nuestra atención por semejanza con las que son objeto de las primeras, sitas al Oeste del río Gato; y las que se han señalado en la serie de itinerarios geológicos que fueron objeto de nuestra atención en este estudio y que ahora han de recordarse para deducir qué probabilidades tienen a su favor o en su contra, desde el punto de la explotabilidad, en vista del cortejo de hechos y antecedentes que se van relatando.

Unos y otros criaderos, los conocidos por su explotación, aquellos que no pasaron de ser reconocidos, los que sólo quedaron a la vista por alguna labor superficial y los otros que en nuestros itinerarios vimos apenas dibujarse por su crestón; todos estos, y la serie de aquellos que ya por ser este crestón poco marcado en el lugar de la observación no se mostraron a la vista bien patentemente, quedan en circunstancias genéticas análogas; hacia el

contacto del granito y de las pizarras paleozoicas, en relación con el cortejo de hechos que debieron desarrollarse hacia esa zona, que aparece atravesada por una serie de apófisis y venas de naturaleza análoga a la de la gran mancha hipogénica, en que sucesos de naturaleza solfatárica y geiseriana tuvieron lugar.

Aceptada la teoría hidromineral para el relleno y la génesis, el origen endógeno, en yacimientos de este tipo, cuarzosos-cupríferos-plumbosos, el origen inmediato de las disoluciones, que llevaron en último lugar al relleno de las grietas, se halla en la gran mancha granítica de Los Pedroches.

Desde este punto de vista hay que aceptar condiciones genéticas análogas para el relleno de la serie de hendiduras que se anotaron; y cuando en el proceso que el conjunto de tales filones presenta, queremos seleccionar aquellos que, conocido el feliz resultado de la explotación llevada a efecto en los mismos, hemos de aceptar como prototipos, necesariamente hemos de acudir a los filones del grupo de «El Soldado», a los de «Terreras» y «Claudio», a las enseñanzas del grupo de Alcaracejos-Villanueva del Duque.

En este caso tenemos, que por lo que hace a la situación de las formaciones geológicas, granito y pizarras, así como por lo que a los materiales endógenos inmediatos se refiere, gran mancha granítica en Los Pedroches y serie de apófisis, diques y manchas marginales a aquélla, que nos hallamos en lugares por completo equigenéticos, en sitios en donde por lo tanto parece lógico y plausible sospechar que las circunstancias para el relleno de los yacimientos filonianos fueron análogas.

Pero si comparamos el rumbo de unos y de otros criaderos, nos hallamos con que unos, los del tipo de «El Sol-

«El Soldado» son, como se ha dicho, yacimientos normales claramente al contacto del granito y de la pizarra, mientras que otros, los del grupo «San Francisco», son yacimientos paralelos a esa línea del contacto.

Entonces salta a la vista la diversidad en tales dispositivos y se hace necesario pensar si hubiera para ello otra razón. Mas, como se observa en el plano que se acompaña, resulta ser que en la zona objeto de nuestro estudio, en aquella de las inmediaciones del contacto del granito y de la pizarra, que se extiende al Este del río Gato, por los términos municipales de Villanueva de Córdoba, Adamuz y Montoro, hasta la inmediata provincia de Jaén, se hallan yacimientos análogos en su dirección a los de la mina «San Francisco», pero no faltan otros similares por su dispositivo, por su rumbo, a los de «El Soldado».

Los yacimientos de «El Soldado» tienen aquí una representación que, en vista de cuanto se ha expuesto, por las razones citadas, si pensamos en un momento que no existieran las labores realizadas sobre la mina «San Francisco» y sus homólogas, creeríamos que esos crestones, y esos indicios de yacimientos normales a línea de contacto del hipogénico y del sedimentario, son aquellos que en la zona merecen un estudio especial, un reconocimiento y exploración en primer término.

A su vez, como hemos manifestado, el yacimiento de «San Francisco» no puede aceptarse como un valor negativo; y si se tiene presente que sus asomos, los de los filones que allá se encuentran, son vetas de cuarzo casi interestratificadas, sin indicios llamativos y, por otro lado, tan frecuentes en la zona, que nos lleva a pensar que gran número de los indicios repetidamente señalados, como sin importancia alguna en los terrenos reconocidos, pudieran ser el anuncio de zonas metalizadas en profundidad, que

merecerán un atento examen según las enseñanzas de la citada mina.

No puede generalizarse, por lo tanto, los hechos que el yacimiento de «San Francisco» lleva con sus apariencias superficiales. La mayor razón, en abono de este modo de enjuiciar, es que en los criaderos explotados en la región de Alcaracejos-Villanueva del Duque, las vetas de cuarzo interstratificadas no se corresponden con vetas mineralizadas; pero no olvidemos la presencia de la molibdenita, en las que se hallaban en ese caso en la mina «Terreras», y la de esa sustancia en el dique de granito de la mina «San Francisco», que aparece al pie de los cuarteles de esta explotación.

Nosotros estimamos que ello es un anuncio y es un elemento de juicio que no puede perderse de vista en las investigaciones, y que así como de acuerdo con los hechos observados resulta que los filones importantes de la región están definidos por grietas normales al contacto del granito y de la pizarra, aparecen otra serie de ellos, paralelos a ese contacto, casi interstratificados en el sedimentario, o en su contacto, con los diques hipogénicos.

Pero entonces, parece ser que se trata de un paso de las disoluciones mineralizadas en sentido transversal al recorrido general, cuando por los movimientos endógenos o por la estructura especial quedaron hendiduras marginales a las grietas transversales a dicho cauce filoniano. Nos explicaremos más claramente. La marcha y el relleno de las disoluciones mineralizadas, se ha realizado siempre en el sentido del granito hacia la pizarra marginal; es decir, en sentido transversal, normal al contacto geológico, como es el caso del yacimiento típico de «Terreras»; pero a veces, al discurrir estas disoluciones, han encontrado transversalmente ensanchamientos, lugares donde acci-

dentalmente pudieron dejar un depósito de las sustancias mineralizadoras disueltas, que en conjunto siguen en este sentido del núcleo endógeno a la periferia sedimentaria; este sería el caso de los lentejones correspondientes a las vetas o filones de la mina «San Francisco», de acuerdo con que allá se halla un filón tipo de «El Soldado», normal a la pizarra, que pudiera ser el que en parte queda al descubierto, aunque borrosamente, con el socavón principal, en donde hemos dicho que aparece el plomo y la pirita de hierro, la calcita y el cuarzo, en dispositivo normal al de las vetas explotadas, al de las pizarras de la caja.

La serie de criaderos del primer tipo, que dieron resultado espléndido en su laboreo, y la serie de dudas que nos sugieren los antecedentes que acerca de la exploración y la explotación de los yacimientos del segundo tipo tenemos, viene en refuerzo, de un valor práctico estimable, al razonamiento anterior.



PLANO GEOLÓGICO

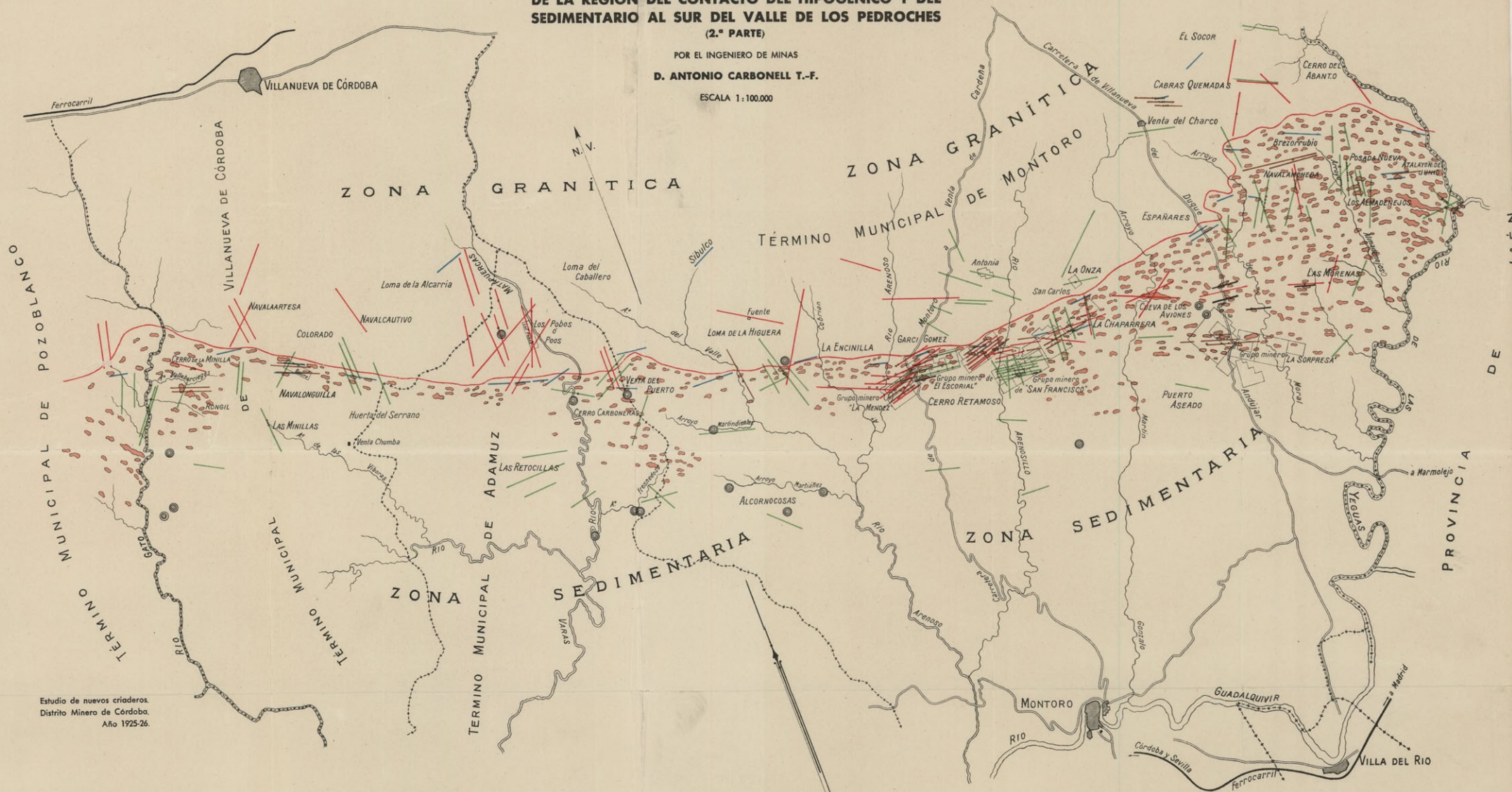
DE LA REGION DEL CONTACTO DEL HIPOGÉNICO Y DEL
SEDIMENTARIO AL SUR DEL VALLE DE LOS PEDROCHES
(2.ª PARTE)

POR EL INGENIERO DE MINAS

D. ANTONIO CARBONELL T.-F.








ESCALA 1:100.000

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA.—BOL. LX



Estudio de nuevos criaderos.
Distrito Minero de Córdoba.
Año 1925-26.

EXPLICACIÓN

-  Asomos hipogénicos graníticos que cortan al Sedimentario.
-  Filones probables de plomo y otros.
-  Idem, idem, de cobre y otros.
-  Idem, idem, de volfram, pirita arsenical y otros.
-  Idem de pegmatitas.
-  Tierras carbonosas.
-  Aguas ferruginosas.



INDICE DE MATERIAS

	<u>Páginas</u>
AHORA HACE CIENT AÑOS....., por P. H. Sampelayo y J. M. ^a Ríos . .	I
FUNDAMENTOS LÓGICOS DE LA GEOLOGÍA, por E. Cueto Rui-Díaz..	I
SOBRE EL DESCUBRIMIENTO DE UN NUEVO YACIMIENTO DEL MEÓTICO, EN EL VALLÉS, por M. Crusafont Pairó y J. Truyols Santonja	69
LOS FORAMINÍFEBROS FÓSILES Y SU UTILIDAD EN GEOLOGÍA ESTRATI- GRÁFICA, por G. Colom	111
DIAPIRISMO, por J. M. ^a Ríos	153
INVESTIGACIÓN DE ELEMENTOS EXIGUOS EN CENIZAS DE CARBONES MINERALES ASTURIANOS, por Juan Manuel López de Az- cona y Antonio Camuñas Puig	391
ESTUDIO DE LOS CRIADEROS DE LA REGIÓN SE. DE EL SOLDADO, PARA INVESTIGAR LA PROBABLE CONTINUIDAD DE ESA IMPORTANTE ZONA MINERA, por A. Carbonell T.-F.	403