

REVISTA

DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

FACULTAD DE CIENCIAS

ENERO-DICIEMBRE 1946-47



AÑO VII

NÚMS. XXXVII y XXXVIII



SUMARIO

Páginas

<i>Los problemas de la moderna Paleobiología</i> , por Bermudo Meléndez, Catedrático de la Universidad de Granada	5
<i>La orografía de la península ibérica</i> , por E. Cueto y Rui-Díaz, Ingeniero de minas.....	59
<i>Ocultación de los iones</i> , por Siro Arribas Jimeno, Profesor de la Facultad de Ciencias.....	83
<i>El sistema periódico en Química Analítica</i> , por Siro Arribas Jimeno, Profesor de la Facultad de Ciencias.....	99





LOS PROBLEMAS DE LA MODERNA PALEOBIOLOGIA⁽¹⁾

POR

BERMUDO MELENDEZ

Catedrático de la Universidad de Granada

I.—GENERALIDADES

La Paleobiología (del griego *παλαιός*=antiguo, *βίος*=vida, y *λόγος*=fundamento), es por su etimología la Ciencia que estudia las manifestaciones de la vida en el pasado de la tierra, es decir, que persigue el estudio de la Biología en el transcurso de los tiempos geológicos, buscando las mutuas relaciones de los seres vivos entre sí, o las existentes entre el medio ambiente y los organismos, y finalmente, su lenta evolución en el tiempo.

Estos estudios, que siempre han estado más o menos incluídos

(1) Conferencias pronunciadas los días 4 y 5 de septiembre de 1945 en el VI Curso de Verano.



en el ámbito de la Paleontología, han tomado carta de naturaleza propia desde hace unos veinte años, gracias a los trabajos del Profesor Othenio Abel a quien realmente se debe la fundación independiente de la novísima ciencia a que venimos refiriéndonos.

En la actualidad, contribuyen al desarrollo de esta interesantísima rama de las Ciencias Naturales, gran número de hombres de ciencia de todos los países, biólogos, geólogos y especialmente paleontólogos, que han encontrado en esta nueva modalidad de la Paleontología, amplio campo casi virgen, para sus investigaciones.

Atendiendo al fin que persigue, puede dividirse la Paleobiología en diversas ramas:

PALEOETOLOGIA (del griego *ἔθος*=género de vida), se ocupa del estudio de la forma de los organismos fósiles en relación con su género de vida y el medio en que se desarrollaron.

PALEOECOLOGIA (del griego *οἶκος*=medio ambiente), trata de reconstruir la configuración del mundo animado en las distintas eras geológicas, y de sus condiciones de vida, utilizando no sólo los fósiles, sino también la naturaleza de los sedimentos en que aparecen, mediante el estudio de las fácies estratigráficas, de que más adelante nos ocuparemos con detalle.

PALEOBIOGEOGRAFIA, (del griego *βίος*=vida, *γῆ*=tierra, y *γραφία*=descripción), estudia la repartición geográfica de los seres vivos en los tiempos geológicos, en los diversos medios terrestres y acuáticos, contribuyendo directamente al estudio de la Paleogeografía, al separar con las zonas costeras, los continentes de los mares, y en estos últimos sus diversas regiones en profundidad.

FILOGENIA (del griego *φύλον*=especie, y *γένος*=engendrar), procura llegar al conocimiento del progresivo desarrollo de la vida en el transcurso de las eras geológicas, estableciendo series evolutivas o series filéticas que nos conducen desde las formas más antiguas a las actuales, es decir, al conocimiento detallado de la evolución orgánica.

II.—LOS FOSILES

El material de trabajo para esta nueva ciencia, es el mismo que para el paleontólogo, es decir los fósiles (del latín *fossilis*=sacado de la tierra) que no son otra cosa que restos orgánicos que merced a condiciones especiales se han conservado hasta nosotros incluídos entre los materiales sedimentarios de los estratos que forman las rocas depositadas en el seno de los mares o de los lagos, en el transcurso de las eras geológicas, denominándose proceso de fosilización, a la substitución de la materia orgánica por sales minerales diversas.

En el caso de que la substitución se realice molécula a molécula, se conserva en los fósiles incluso la estructura íntima del organismo, pudiendo estudiarse al microscopio en cortes delgados por los métodos petrográficos. Así ocurre con los caparazones de ciertos *foraminíferos*, con las conchas de los *Braquiópodos* y con algunos vegetales en los que se aprecian hasta las puntuaciones areoladas de los vasos leñosos.

Sin embargo, la mayoría de las veces, lo que encontramos es una especie de vaciado o molde, que aunque suele ser de gran perfección, revelándonos hasta los detalles más insignificantes del organismo que le dió origen, ha perdido por completo la estructura íntima de aquél. Este es el caso de los fósiles de *Equinodermos*, pues por un fenómeno de recristalización de la calcita que en parte forma su esqueleto, se ha originado espato calizo con exfoliación romboédrica en el que no queda resto de la estructura de aquél. Lo propio ocurre, aunque por distinta causa, con los *Ammonites* y *Trilobites*, que llegan generalmente a nuestras manos sin el caparazón externo por ser muy tenue (de aragonito fácilmente soluble en aquéllos, y quitinoso en éstos), no obstante lo cual, el molde nos revela todos los detalles de su organización, como son la línea de sutura de los tabiques y las costillas que adornan la concha de los *Ammonites*, y la sutura facial, caracteres de los ojos y rugosidades del caparazón en los *Trilobites*, siendo en general ta-

les moldes muy suficientes para llegar a la exacta determinación del animal a que pertenecen.

Los moldes pueden ser externos o internos, según que reproduzcan la forma exterior del resto orgánico o los detalles de su interior, y esto último tiene gran importancia, pues indirectamente nos pueden suministrar interesantes detalles sobre la anatomía interna, como ocurre con los moldes internos de las conchas de *Braquiópodos* y *Moluscos*, en los que aunque hayan desaparecido por completo aquéllas, se nos revela la forma y disposición del aparato braquial, y de las impresiones musculares, vasculares y paleales, y con los *Equinodermos*, cuyos moldes suelen reproducir la disposición del aparato ambulacral, cual ocurre por ejemplo con los moldes internos de *Clypeaster* del Mioceno de Palamó (Gerona).

Casualmente, se pueden conservar simultáneamente los moldes interno y externo, habiendo sido disuelto el esqueleto calizo propiamente dicho, por las aguas carbónicas que se filtran en el terreno, permitiéndonos relacionar ambos, cosa que de aparecer siempre independientes ofrece en general serias dificultades, habiéndose dado el caso de describir como especies distintas lo que en realidad correspondía a un mismo animal.

La fosilización puede realizarse, teóricamente, en cualquier clase de mineral, pero lo más frecuente es que las partes esqueléticas en cuya composición predominan las sales calcáreas, se transformen íntegramente en carbonato cálcico, siendo necesario que el aragonito se transforme en calcita, por ser aquél más fácilmente soluble que ésta, para su ulterior conservación (caso de las conchas de los Ammonites).

La fosilización en pirita, se realiza en aguas cargadas de sales férricas gracias al desprendimiento de gases sulfurosos provocado por la substancia orgánica en descomposición, que precipitan sulfuro de hierro, el cual substituye poco a poco a la materia orgánica.

La fosilización en sílice, tiene lugar en el seno de aguas en que existe sílice gelatinosa, la cual se precipita en forma de ópalo,

substituyendo molécula a molécula a la materia orgánica, siendo esta sustitución de tal delicadeza, que conserva las estructuras por delicadas que sean.

La sustitución por carbón, mejor dicho, la transformación en carbón, se realiza en los restos vegetales en condiciones especiales anaerobias, por la acción de microorganismos y por procesos de reducción, que descomponen lentamente los hidratos de carbono, liberando agua y anhídrido carbónico, quedando intacta en muchos casos la estructura histológica del vegetal, que puede ser estudiada al microscopio por procedimientos especiales.

Son frecuentes en el proceso de fosilización los casos de epigénesis, pudiendo un fósil cambiar de naturaleza mineral en circunstancias especiales. Así es cómo los fósiles en pirita aparecen por lo general limonitizados por un proceso de hidroxidación. En otros casos, la calcita se reemplaza por carbonatos metálicos (malaquita, siderita, etc.), o por sílice y viceversa, siendo muy de tener en cuenta estos procesos que pueden inducir a error cuando se trate de averiguar la naturaleza del esqueleto del animal fosilizado, pues ésta puede estar cambiada, y entonces se llega a conclusiones falsas respecto a su posición sistemática. Tal ocurre por ejemplo con los *Arqueociátidos* (Esponjas especiales del Paleozoico), y con los *Litistéidos* (Esponjas Silíceas del Jurásico), que presentándose como fósiles en general calizos, provienen de organismos con esqueleto silíceo.

Un caso particular de los moldes, son las impresiones dejadas por el fósil sobre la roca que lo contuvo, después de su completa desaparición. A esta categoría pertenecen las impresiones de frondes de los llamados Helechos del Carbonífero (*Pteridospermeas*), y de las alas de insectos de esta misma época.

Por último, se clasifican en la categoría de huellas, a los rastros o marcas dejadas en la arena de las playas, en el fango de las marismas, en el cieno del fondo de las aguas, etc., por el paso de animales, como son las huellas del paso de aves, de anfibios, de

gusanos anélidos, etc., que en la mayoría de los casos identifican bastante bien al animal que las ha producido.

En general, lo único que se conserva de los seres orgánicos, en el proceso de fosilización, son sus partes duras, los esqueletos más o menos mineralizados, en los que el carbonato cálcico entra en considerable proporción: Los caparazones de los *Foraminíferos*, las espículas silíceas de los *Radiolarios* y de las *Esponjas*, los políperos calizos de los *Celentéreos Antozoarios*, el esqueleto dérmico también calizo formado por placas en los *Equinodermos*, las zoecias incrustadas de sales calcáreas en los *Briozoos*, las conchas de los *Braquiópodos* y de los *Moluscos*, el caparozón de los *Artrópodos* cuando está incrustado por sales calcáreas (*Crustáceos*), y los huesos del esqueleto de los *Vertebrados*, así como los tejidos vegetales, que son susceptibles de transformarse en carbón o de silicificarse, sin que como más arriba indicamos se pierda su estructura.

Pero excepcionalmente, en condiciones especialísimas que no obstante se han producido en casi todas las épocas geológicas, desde los tiempos más remotos, se conservan también las partes blandas, formadas por tejidos exclusivamente orgánicos, que deberían haberse descompuesto rápidamente después de la muerte del animal.

Citaremos por vía de ejemplo el caso de las formaciones de pizarras arcillosas del Cámbrico inferior y medio de la Colombia Británica (Canadá), en Mont Stephen, donde Walcott (1) ha descrito una interesantísima y complicada fauna que comprende *Crustáceos*, *Holoturias*, *Anélidos*, *Medusas*, etc., cuyas partes blandas se han conservado con una delicadeza increíble permitiendo estudiar hasta los menores detalles de su organización y de su anatomía interna, y con ello llegar al conocimiento exacto de una fauna de las más antiguas conocidas.

Otro yacimiento clásico es el de las calizas de grano finísimo,

(1) WALCOTT, Ch. D., «Cambrian Geology and Paleontology».—Smithsonian Miscellaneous Collection, 1909-1925.

litográficas, del Jurásico superior (Kimmeridgiense) de Solenhofen (Baviera), donde se ha conservado también una fauna completísima, en la que intervienen *Cefalópodos* (*Belemnites*), *Medusas*, *Peces*, *Reptiles*, *Aves*, *Insectos*, *Crustáceos*, etc., cuyas partes blandas conservadas nos ilustran perfectamente sobre la anatomía de estos animales que únicamente por su esqueleto no habrían podido ser reconstruídos (especialmente los *Belemnites*).

El mismo caso se repite durante el Terciario, siendo los sedimentos de margas bituminosas, del Oligoceno en Ribesalbes (Castellón) y del Mioceno en Libros (Teruel), donde también se han conservado interesantes formas de *Anfibios*, *Peces* e *Insectos* (1).

Un caso particularísimo es el de los insectos y arácnidos conservados en el ambar oligoceno del Báltico y de Sicilia, pues aquí del animal propiamente dicho no queda nada, existiendo únicamente el hueco que ocupó al ser englobado en la resina, tapizado interiormente por un polvo impalpable que reproduce a la perfección todos los detalles anatómicos, y algunas veces hasta el color. Otro caso también particularísimo es el de los anfibios, reptiles y otros pequeños vertebrados, transformados en fosforita, del yacimiento de Quercy (Francia), en que el animal se conserva íntegro con todas sus partes blandas.

Finalmente, existen casos de conservación «in toto», verdaderas momificaciones, como los restos de *Dinosaurios* del Cretácico superior encontrados en Kansas (U. S. A.), en que se ha conservado la piel, o los restos de mamíferos y anfibios de los lignitos oligocenos de Geiseltal (Alemania) (2) que se han podido estudiar histológicamente, o los cadáveres de *Mammuth* encontrados en el subsuelo helado de los estuarios de los ríos de Siberia que incluso

(1) H. Sampelayo, P., «Las formaciones de margas bituminosas de Ribesalbes (Castellón)».—Mem. Inst. Geol. y Min. de España, t. XLVI 3.º, 1926.

(2) Voigt, E.—«Observaciones histológicas en partes blandas animales encontradas en los lignitos eocenos de Geiseltal».—Investigación y Progreso, t. XI, n.º 6, Madrid, 1940.

han permitido realizar reacciones de consanguinidad con los actuales elefantes, y finalmente los cadáveres humanos del Paleolítico encontrados en las turberas de la Prusia Oriental (1), en los que se han hecho interesantísimos estudios de anatomía, parasitismo, etcétera, y el Rinoceronte hallado en los yacimientos petrolíferos de la Galitzia Austriaca.

La condición indispensable para que un resto orgánico pueda fosilizar, es que rápidamente quede incluido en las capas sedimentarias, es decir, que quede aislado de la atmósfera o del agua, para que se interrumpan las reacciones de oxidación que terminan por descomponer completamente la materia orgánica, y como ésto no tiene lugar en general más que en el seno de las aguas, donde el depósito de sedimentos es constante y a veces muy rápido, se comprende la mayor probabilidad que tienen los organismos marinos, y en general los acuáticos, para fosilizar, pues los seres aéreos únicamente alcanzan las condiciones adecuadas para su conservación cuando casualmente, después de muertos, vayan a parar al fondo del mar o de un lago, o a los estuarios de los ríos, arrastrados por su corriente. De otra forma, tales organismos, aún en el caso de que no sean devorados por otros animales, desaparecerán irremisiblemente sin dejar rastro de su existencia.

La sedimentación aérea, la exclusivamente continental, es muy rara, y casi se reduce, a las formaciones de dunas y de loess debidas a la acción del viento, y en este caso suelen encerrar una fauna terrícola fósil muy especial, de *Moluscos Pulmonados* y pequeños *Mamíferos*, o a circunstancias especialísimas, por ejemplo, las que por la intervención de la mano del hombre han tenido lugar en el fondo de las cavernas que habitó durante el Cuaternario:

(1) La Baume, W.—«El cadáver prehistórico de las turberas de Dröhnitz (Prusia Oriental)».—Investigación y Progreso, t. XIV, n.º 7-8, Madrid, 1943.

III.— LAS FACIES GEOLOGICAS

Ante la imposibilidad de aplicar en paleobiología el método experimental propio de las ciencias biológicas, pues no solamente falta en los fósiles toda manifestación vital, sino que además, en general llegan muy incompletos a nuestras manos, y en el caso de ser *moldes* sólo conservan la apariencia externa de lo que fueron, hemos de recurrir a procedimientos indirectos que nos permitan no sólo fijar con exactitud la posición sistemática del organismo fósil, y reconstruirle en todas sus partes, sino que además hemos de procurar restituírle al *medio biológico* en que se desarrolló. Este *medio* ha desaparecido por completo, y únicamente por ciertos caracteres de los materiales sedimentarios, podemos deducir consecuencias respecto a su género de vida marino o terrestre, costero o de aguas profundas, pero siempre quedarán sin determinar por este método una porción de circunstancias, temperatura, salinidad, humedad, etc.

Además, por lo tanto, de tales observaciones, hemos de recurrir a dos principios fundamentales como base de los estudios paleobiológicos: El de la *correlación orgánica*, y el del *actualismo*.

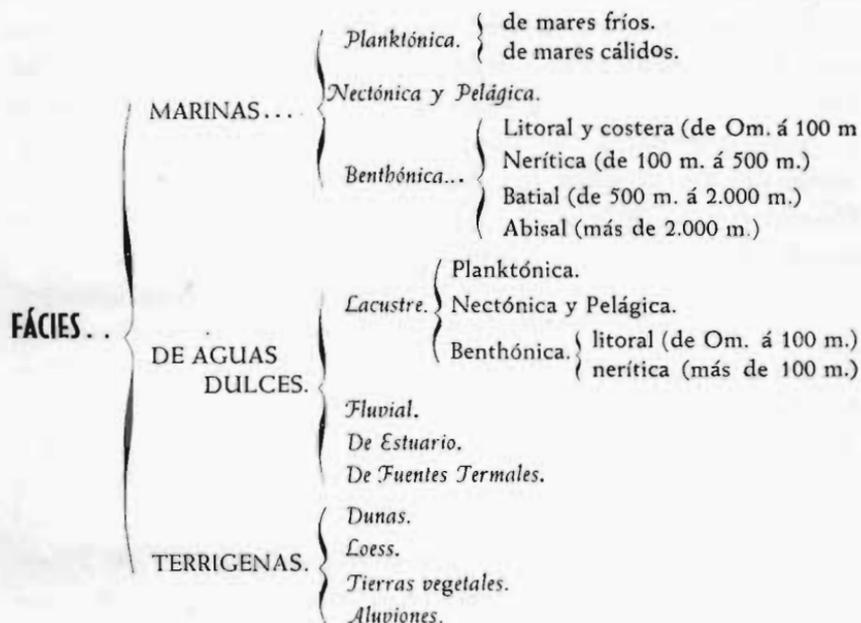
El primero se basa en el estudio detallado de la Anatomía Comparada fundada por Cuvier a principios del siglo pasado, y regula las relaciones anatómicas y funcionales entre las diferentes partes de un organismo, llegando a la conclusión de que éstas se complementan entre sí, dependiendo unas de otras como los términos y soluciones de una ecuación, de forma que por una sola de estas partes nos es dado llegar al conocimiento de las demás y a la reconstrucción de la totalidad del organismo. Así es como el mismo Cuvier, ante el asombro de sus incrédulos colegas iba descubriendo los huesos marsupiales por él previstos en el esqueleto encontrado en los depósitos terciarios de Montmartre, basándose en la dentición del ejemplar que identificaba el fósil con los actuales *Marsupiales* australianos, provistos a su vez de tales huesos pelvianos que faltan en los demás mamíferos.

Por el principio del actualismo, nos es lícito atribuir a los fósiles el mismo género de vida que a los animales actuales próximos a ellos, y que poseen la misma forma general del cuerpo o de algunos de sus órganos adaptados a un especial género de vida. Así podemos suponer con fundamento que serían voladores ciertos Reptiles de la Era Secundaria (*Pterodactylus*, *Rhamphorhynchus*, *Pteranodon*) cuyas extremidades anteriores muy modificadas, recuerdan la disposición del esqueleto de los murciélagos, con los huesos del 5.º dedo, del brazo y del antebrazo muy largos, para servir de inserción a la membrana alar; y que otros (*Plesiosaurus*) serían buenos nadadores por la disposición de sus extremidades en forma de paleta o remo, y el cuerpo fusiforme, lo cual se manifiesta aún con mayor claridad en otros tipos (*Ichthyosaurus*) completamente adaptados a la vida pelágica, y con apariencia de peces.

Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones, llegamos sin dificultad al concepto de *fácies geológica*, que no es otra cosa, sino el conjunto de caracteres paleontológicos y petrográficos, suministrados por los fósiles y por las rocas sedimentarias de la formación, que nos definen con precisión las condiciones de toda índole en que ésta se ha formado.

Ocurre inmediatamente la pregunta, de si en otras épocas geológicas, habrán estado poblados los diferentes medios biológicos como lo están actualmente, y a continuación pasaremos revista a los diferentes tipos de *fácies* para demostrar que tal aserción es justificada, y sacar las consecuencias oportunas de orden práctico, sin perder de vista, que en general, por el fenómeno de la sedimentación, aparecerán mezclados los restos orgánicos de distintos medios biológicos o al menos de distintas regiones de uno mismo, y que será necesario el máximo cuidado para poderlos separar.

La clasificación de fácies puede resumirse en este cuadro:



I. *Fácies planktónica marina.*—Se caracteriza por los restos de los seres que después de haber sido arrastrados al azar por el mar, han caído al fondo, mezclándose con los sedimentos y con restos del Necton y Benthon, siendo preciso para distinguirlos tener presentes las características del Plankton actual, y guiarnos por la semejanza entre seres que cumplen la misma función.

El estudio de los mares actuales, nos demuestra que en los grandes fondos marinos donde se acumulan caparazones de *Globigerinas*, las aguas superficiales están llenas de tales organismos vivos, y por lo tanto, si en una roca sedimentaria encontramos estos caparazones, fácil nos será deducir que se formaron en mares profundos. Pero si la profundidad es excesiva (más de 2.000 m.), hay que tener en cuenta que como estos caparazones van siendo disueltos por el agua marina durante su caída hacia el fondo, desaparecerán antes de llegar a él, y no podrá producirse tal sedimen-

tación, y en consecuencia, las rocas allí formadas carecerán de restos de Foraminíferos.

Las rocas con *Foraminíferos*, de fácies planktónica marina, son muy numerosas en toda la serie geológica, y dentro de su variedad conservan cierta unidad y analogía entre ellas que las distinguen de otros sedimentos análogos. Muy típicas son las calizas con *Fusulinas* del Antracolíptico, los *Lagénidos* del Jurásico, los *Rotalia* del Cretácico y los *Miliólidos* de la Era Terciaria, y sin duda corresponden a los fondos actuales con *Globigerinas*.

Ciertas formas han tenido una longevidad asombrosa (*Globigerinas*, *Operculinas*), pero existen multitud de formas características de niveles especiales; *Fussulina*, *Saccamina*, *Trochamina* y *Lituola* del Carbonífero (1). Los *Lagénidos* del Liásico (2), y un sin fin de formas *Textularia*, *Rotalia*, *Dimorphina*, *Dentalina*, *Nodosaria*, *Orbulina*, *Bulima*, *Gaudryia*, etc., son propias del Cretácico superior (Turonense) o Creta.

Por lo que respecta a los *Nummulites*, característicos del Paleógeno y especialmente del Eoceno, hay que tener en cuenta que dado lo voluminoso de muchas especies y lo macizo de sus caparazones, parece poco probable que tuviesen vida pelágica o planktónica, pudiendo pensarse más bien que vivirían en zonas litorales, formando el tránsito del Plankton al Benthon.

Las *Diatomeas* otro elemento planktónico fundamental de nuestros mares, se encuentran desde el Cretácico en numerosos horizontes (3), y en el Eoceno son frecuentes *Gallionella*, *Fragilia*, *Navicula*, y en casos *Triceratium*. En el Plioceno, son también frecuentes, y se citan en numerosos puntos de Europa y N. América, *Ceratoneis*, *Stauroneis* y *Grammotophora*.

Los *Radiolarios*, de esqueleto silíceo, que reemplazan a los fo-

(1) Meunier, St.—«Le Calcaire à Saccamina de Cuss y en Morvan».—C. R. de l' Acad. Sc. C. 9.1.—1885.

(2) Terquem et Schlumberger.—Mem. Acad. impér. de Metz.—1858-70.

(3) Meunier, St.—Le Naturaliste, Oct.—1906.

raminíferos en los mares fríos, se encuentran desde las formaciones precámbricas (1), y son una de las pruebas de la existencia de la vida en mares de época remotísima pertenecientes a la Era Arcaica (fig. 1).

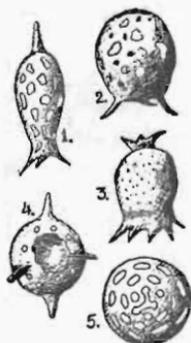


Fig. 1.—Radiolarios del Precámbrico de Lamballe (Côtes-du-Nord, Normandía)
1.—*Tripitidium*. 2.—*Tripodiscium*. 3.—*Anthocyrtis*. 4.—*Staurosphaera*. 5.—*Cenosphæra*. (Muy aumentados)

Otro tipo de sedimentos actuales con restos de animales planktónicos lo forman los cienos de *Pterópodos* más exactamente, con *Hyaletes*, *Criseis* *Cleodora*, que se caracterizan por su inercia respecto a los movimientos del mar. Todos los terrenos del Terciario moderno contienen restos de tales animales muy próximos a los actuales (*Cavolinia*, *Cleodora*), pero donde son especialmente interesantes estos depósitos es en el Paleozoico, cuyas formas emparentadas con las actuales, tienen rasgos muy particulares. Los *Hyalites* del Cámbrico se aproximan a los actuales *Hyaletes*, los *Conularia* particularmente abundantes en ciertas fácies del Silúrico corresponden con toda probabilidad a los *Cleodora* de nuestros mares, y los *Tentaculites* que en el Devónico forman aglomeraciones muy no-

(1) Cayeux, M.—«Les phtanites noires des environs de Lamballe (Côtes-du-Nord)».—Bull. Soc. Géol. de France, XXII, 197.—1894.

tables, parecen aproximarse a los *Criseis* que como aquéllos forman bancos pelágicos (1).

Finalmente, los *Graptolites*, confinados en el Silúrico, se sabe hoy a ciencia cierta, que formaban colonias flotantes de gran complicación, provistas de un pneumatóforo, análogamente a los actuales *Sifonóforos*, (fig. 2) pero con un esqueleto quitinoso, que trans-

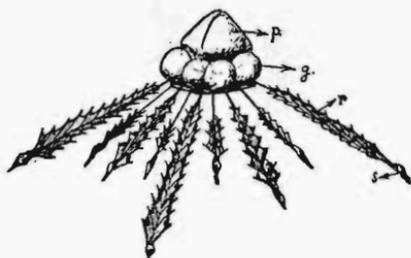


Fig. 2.—Reconstrucción de una colonia de *Graptolites*, (*Diplograptus*), hidrozo o planktónico del Silúrico inferior
p= pneumatóforo, g= gonoteca, r= rhabdosoma, s= sícula. (x1/5)

formado en pirofilita se ha conservado perfectamente en las pizarras silúricas, proporcionándonos un elemento de primer orden para su estratigrafía.

Referente a la litología de esta fácies, se comprende que puede ser variadísima, con el carácter común de tratarse siempre de rocas de grano fino, como corresponde a formaciones de aguas profundas y suficientemente alejadas de las costas, siendo sin duda el carácter paleontológico lo que las distingue de otras similares.

2. *Fácies nectónica y pelágica marinas*.—Está caracterizada por los animales que viven en el seno del agua con libertad de movimiento, de forma que en ellos siempre existen órganos propulsores que les permiten trasladarse según sus necesidades dentro del líquido elemento.

Los seres más característicos de este tipo son los *Peces*, de cu-

(1) Fischer, Pt.—«Conchyliologie».—Pág. 538, vol. I, París, 1887.

yos fósiles se conocen numerosos yacimientos en todas las épocas de la historia de la Tierra.

En el Devónico de Escocia abundan los depósitos de areniscas rojas (Old red sandstone) con restos de *Peces Placodermos*, en el Pérmico de Autun (Autuniense) aparecen numerosas impresiones completas de *Palaeoniscus* y *Amblypterus*. En el Mesozoico, el Jurásico es especialmente abundante en *Ganoideos* y *Teleóstomos* siendo notables los ejemplares procedentes de las calizas litográficas de Solenhofen (Baviera), pero donde son verdaderamente frecuentes los peces fósiles, hasta el punto de formar aglomeraciones en que pueden contarse por centenares, es en el Terciario. En las calizas del Eoceno de Puteaux, cerca de París, aparecen innumerables esqueletos de gran tamaño de un pez parecido al Atún, el *Hemirhynchus Deshayesi* (1), muchos de cuyos ejemplares poseen aún escamas y aletas, y en las margas oligocenas (Tongriense) de Aix-en-Provence, se encuentran por millares los esqueletos de un pequeño pececillo, *Lebias cephalotes*.

Otro tipo de animales típicamente pelágicos son los *Cefalópodos*. Entre éstos, los *Ammonites* son esencialmente formas nectónicas, y aunque algunos de concha muy ornamentada, globosa o desarrollada, serían con toda probabilidad benthónicos, la finura y delicadeza de sus conchas, la forma discoidal de los más, con quilla pronunciada y débil ornamentación, les dieron condiciones óptimas para surcar velozmente las aguas. Por la especial organización de la concha, después de muerto el animal, flotaría durante largo tiempo, y así sería posible su dispersión en áreas muy extensas, siendo un elemento faunístico netamente pelágico que se encuentra en toda clase de sedimentos.

Los *Nautiloideos*, de concha generalmente más gruesa, y que nunca alcanza en su forma la perfección que los *Ammonites*, aunque también forman parte indiscutible del Necton, no serían con segu-

(1) Meunier, St. C. R. de l' Acad. des Sc., t. LXXIV, pág. 822, 1872.

ridad tan buenos nadadores, y si se exceptúan los *Ortocerátidos* y grupos afines que parecen haber habitado las aguas profundas, los restantes parecen más bien representar un tipo intermedio entre los seres nectónicos y benthónicos.

En cambio, los *Belemnites*, exclusivamente jurásicos y cretácicos, y de cuya organización sabemos lo suficiente, gracias a los magníficos ejemplares conservados en las calizas litográficas de Solenhofen, para poderlos comparar a los actuales *Calamares* y *Sepias*, son típicamente pelágicos, y los rostros de sus conchas (única parte que de ellos suele fosilizar) caracterizan ésta fácies marina (fig. 3).

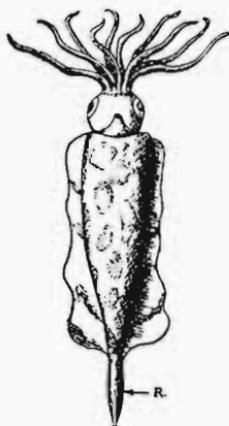


Fig. 3.—Reconstrucción de un *Belemnites*, Cefalópodo planctónico del Jurásico y Cretácico

R.= rostro de la concha interna (x 1/10)

Hay que recordar también los grandes reptiles del Mesozoico, adaptados a la vida pelágica (*Plesiosauros*, *Ichthiosauros*, *Mosasauros*), de gran autonomía y poderosamente constituidos, que aunque normalmente habitarían las capas superiores del océano por la necesidad de salir a la superficie a renovar su provisión de aire, todo hace suponer que también frecuentarían las aguas más profundas en busca del alimento necesario. Sus restos, especialmente sus vér-

tebras, se encuentran con frecuencia en las calizas Jurásicas y Cretácicas.

Por último, existen una serie de animales; *Crustáceos*, *Gusanos*, *Celenteros* y aún *Equinodermos*, que aunque no sea lo más frecuente, pero pueden dar origen a formas pelágicas o nectónicas muy diversas, y en este aspecto es particularmente interesante la fauna del Cámbrico medio de la Colombia Británica, a que ya nos hemos referido en el capítulo anterior, y que comprende interesantísimos *Filópodos* (*Waptia*, *Opabina*, *Burgessia*, *Naraoia*, etc.), *Trilobites* (*Marella*, *Nevadia*, etc.) *Anélidos* (*Ottoia*, *Aysheaia*, *Canadia*, etc.) *Holoturias* (*Pelagoturia*,) *Medusas* (*Peytoia*), etc., uno de los conjuntos faunísticos más antiguos, más completos y mejor conservados conocidos.

Las rocas características de esta fácies pueden ser las mismas de la anterior, aunque su grano puede ser más grueso (calizas bastas, areniscas), pues los animales pelágicos también habitan las regiones neríticas.

3. *Fácies bentónicas marinas*.—Comprenden los animales cuya vida se desarrolla más o menos directamente ligada al fondo marino, esto es, los que viven fijos a él, a los que pudiendo desplazarse libremente y aún nadar con soltura, rara vez sin embargo se remontan a la superficie. Con relación a la profundidad se distribuyen en diversos tipos, y siempre se ha de tener en cuenta que los fósiles característicos aparecerán mezclados con otros correspondientes al plankton y al necton.

a) *Fácies litoral o costera*.—Se caracteriza en primer lugar por el tipo de rocas, siempre detríticas y de elementos gruesos o medianos y aún finos, mezclados: Brechas, pudingas, areniscas y cuarcitas, molasas, arcosas, calizas bastas o conchíferas, etc., que se depositan en la plataforma continental a menos de 100 m. de profundidad.

Sobre estas rocas son frecuentes las marcas del oleaje y las mareas (ripplemarks) presentando sus planos de estratificación ondulados, las huellas del paso de ciertos animales; *Crustáceos*, *Molus-*

cos, *Anélidos*, etc., (1) que pueden dar lugar a las famosas «pistas» conocidas también con el nombre de «bilobites» o «hieroglífidos», de interpretación las más de las veces muy dudosa, pero que en cambio caracterizan muy bien ciertas formaciones, como las Cuarzitas de la base del Silúrico, o el Flisch Eoceno. Otras veces aparecen perforaciones debidas a Anélidos tubícolas (*Scolytbus*), a moluscos o a braquiópodos (*Lingulas*), siempre bien caracterizados.

La presencia de una vegetación submarina está comprobada por las impresiones que aparecen sobre las rocas, reconocidas desde la base del Paleozoico (*Fucoides*, *Mirianites*, *Foralites*, etc.) y que muchas veces son de dudosa interpretación como las pistas antes aludidas, pero otras veces las impresiones delatan claramente que proceden de algas, como las *Laminarias* (2) y otras muchas en diversas épocas de la historia de la tierra.

La mayoría de los *Moluscos Gasterópodos*, pertenecen a la fácies benthónica litoral, y en especial los herbívoros, directamente relacionados con las algas de que se alimentan, y por lo que respecta a los *Lamelibranquios*, no sólo los de costumbres limnícolas que viven enterrados en la arena o en el fango (*Pholadomya*, *Posidonomya*, etcétera), sino los litófagos, que frecuentemente aparecen todavía incluídos en el agujero de la roca, y los que viven fijos al fondo marino formando «bancos», que generalmente poseen una de las valvas mucho más desarrollada que la otra, y de los que se encuentran ejemplos en casi todos los terrenos (*Ostreoides*, *Rudistas*, *Dicerátidos*, etc.), asociados a *Coralarios* y *Braquiópodos* especiales (fig. 4).

(1) Nery-Delgado.—«Terrenos paleozoicos di Portugal».—Mem. Acad. Sc. di Lisboa, 1876.

(2) Meunier, St.—C. R. du Congrès des Scs. des savants, 1904, pág. 156.

Multitud de *Esponjas* viven también fijas al fondo marino en las zonas costeras, y sus espículas se mezclan con los sedimentos, pero suelen ser más abundantes a mayores profundidades, y otro tanto puede decirse de los *Equinodermos* animales típicamente ben-



Fig. 4= *Hippurites cornu-vaccinum*, Lamelibránquiuo del grupo de los Rudistas, que formaba «bancos» en los mares costeros del Cretácico superior (x 1/5)

thónicos y que se encuentran desde la misma línea de costa hasta las grandes profundidades, existiendo formas que caracterizan las fácies litorales (*Cidaris*, *Diadema*, *Schizaster*, etc.)

b) *Facies nerítica*. Las rocas propias de esta región marina, que se extiende en profundidades de los 100 m. hasta los 500 m. en declive bastante pronunciado, son por una parte detríticas de grano muy fino (margas, arcillas, pizarras, areniscas y cuarcitas pizarrosas), y por otro calizas organógenas, a veces transformadas en mármoles, debidas a la actividad de millones de organismos, principalmente celentéreos, que transforman el sulfato cálcico disuelto en el agua del mar, en carbonato cálcico destinado a fabricar sus esqueletos. Es la zona de los «arrecifes de coral» o «arrecifes madreporicos», donde viven asociados una multitud de seres de los más diversos tipos: *Briozoos*, *Coralarios*, *Crinoides*, *Equínidos* especiales, *Braquiópodos*, *Moluscos* *Gasterópodos*, *Lamelibránquios*, todos ellos con rasgos muy característicos y perfectamente adaptados a la vida sedentaria.

En el Paleozoico, estos arrecifes difieren algo de los que acabamos de exponer, que corresponden a las Eras Secundaria y Terciaria. Por de pronto, en el Cámbrico, existieron unos curiosos or-

ganismos los *Arqueociátidos*, cuya posición sistemática parece ser próxima a las Esponjas, a los que en aquella remota época en que aún no se habían desarrollado los Coralarios, estaba encomendada la formación de arrecifes costeros, siendo un elemento precioso para la determinación de la línea de costas, y ya desde el Silúrico, son los *Tetracoralarios*, a los que se asocian *Estromatopóridos*, y en algunos casos los *Tabulados*, los que dan origen a tales formaciones,

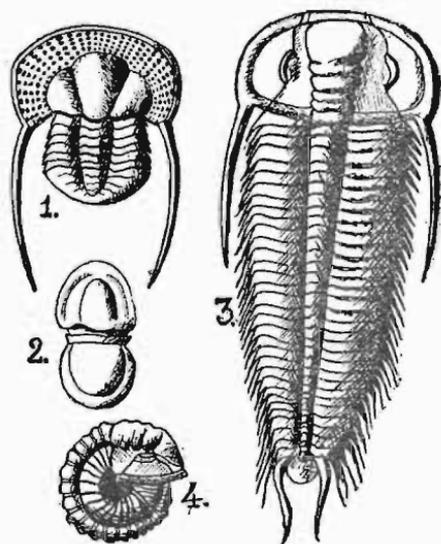


Fig. 5.— Diversos tipos de *Trilobites*

1.— *Trinucleus* (Silúrico). 2.— *Microdiscus* (Cámbrico). 3.— *Paradoxides* (Cámbrico Acadiense.) 4.— *Calymene* en posición arrollada para la defensa (Silúrico)

desempeñando también importante papel los *Cistídeos* precursores de los Crinoides mesozoicos, y ciertos *Braquiópodos* (*Espiriferidos*, *Orthidos*, *Estrofoménidos*, etc.), y *Briozoos* (*Criptostomados*).

Otro elemento importantísimo de la fácies nerítica son los *Trilobites* que vivieron con profusión en los fondos arcillosos actualmente transformados en pizarras, con profundidades medias, pero alcanzando también mayores y pasando insensiblemente a la fácies Batial. Entre ellos hay algunos adaptados a la vida limnícola, viviendo enterrados en el fango de forma análoga al actual *Limulus*,

y que por esta circunstancia carecen de ojos (*Agnostus*, *Trinucleus*, *Harpes*), y otros a la vida pelágica que nadaban libremente, con los ojos muy desarrollados y el cuerpo provisto de espinas (*Phacops*, *Radiaspis*, etc.) (fig. 5).

Respecto a los *Nummulites*, ya indicamos que si bien las formas de pequeño tamaño y esqueleto tenue, pueden considerarse como planktónicas, las otras de caparazón pesado y grueso no podrían mantenerse flotando en el seno de las aguas únicamente por efecto de sus pseudópodos, y en este caso debieron ser de costumbres benthónicas, existiendo probablemente todos los términos de paso entre los dos extremos de vida. y por la aglomeración de enormes cantidades de sus restos han dado lugar a las calizas numulíticas del Eoceno, de carácter claramente nerítico.

Finalmente, las *Esponjas* que viven siempre fijas al fondo marino, especialmente a profundidades medias las calcáreas, son un elemento benthónico indiscutible y de gran importancia. En el Paleozoico y en el Terciario, casi no se conocen más que sus espículas que forman parte de las rocas sedimentarias, pero durante el Mesozoico, adquieren gran preponderancia los *Favretones* y los *Litisteados*, que en el Jurásico y en el Cretácico llegan a formar aglomeraciones de alguna importancia, predominando como elemento fundamental en ciertas formaciones, y caracterizando el benthon nerítico.

c) *Facies batial*.—Se caracteriza litológicamente por rocas detríticas muy finas (arcillas, margas, pizarras), y por calizas formadas por la acumulación de restos de organismos planktónicos, neríticos y benthónicos, más o menos margosas, pero nunca debidas a la acción de los pólipos ni de otros organismos propios de los arrecifes. Su sedimentación tiene lugar siempre en mares profundos, entre los 500 y 2.000 m.

Elementos faunísticos de los mares profundos son los *Crinoides* que formaron verdaderas praderas en el Jurásico (*Pentacrinus*, *Apocrinus*, etc.), encontrándose bancos calizos exclusivamente formados por los artejos de sus tallos y brazos, *Esponjas* silíceas y ciertos *Braquiópodos* (*Terebratula*, *Rhynchonella*, etc.)

Los moluscos que vivieron y viven a estas profundidades son exclusivamente carnívoros, y entre ellos se cuentan algunos *Gaste-*

rópodos, y sobre todo, los *Nautiloideos*, que aunque buenos nadadores, frecuentan los fondos marinos, caracterizándose por sus conchas gruesas y globosas o imperfectamente arrolladas en los paleozoicos. También entre los *Ammonites* hay numerosas formas que a juzgar por sus conchas de espira suelta o aberrante, y por su complicada ornamentación de espinas debieron ser de costumbres sedentarias (*Heteróceras*, *Ancylóceras*, *Macroscaphites*, *Nipponites*, etcétera), y sus restos aparecen siempre ligados a formaciones batiales.

Ciertos *Trilobites* muy especializados, de grandes ojos o de ojos muy reducidos, parecen haber frecuentado también las aguas profundas, en concreto los *Paradoxides*, *Conocorifeos*, *Ptychoparios*, etcétera (fig. 5, 3), y sus restos aparecen siempre mezclados con los procedentes del Plankton, pues es esta la región en que las condiciones para su depósito son óptimas, ya que las aguas son suficientemente tranquilas para su sedimentación, y no demasiado profundas para que en el trayecto de caída lleguen a disolverse.

d) *Fácies abisal*.—Se caracteriza por rocas de elementos extremadamente finos, que casi se reducen a arcillas, pizarras y *radiolaritas*, rocas silíceas formadas por los esqueletos microscópicos de *Radiolarios* y *Diatomeas* procedentes del plankton, que no han podido ser disueltos en su caída por las aguas del mar.

Como fósiles, predominan los de origen pelágico, especialmente *Cefalópodos*, *Ammonites* y *Ortocerátidos* que debieron frecuentar los fondos abisales, o depositarse en ellos sus conchas después de la muerte del animal, existiendo también una fauna propia de las aguas muy profundas, formada principalmente por ciertos *Trilobites*, *Braquiópodos*, *Crinoides* y *Esponjas silíceas*.

No obstante, lo frecuente es encontrar rocas sin fósiles, a las que la materia orgánica contenida comunica color negro desprenden y olor fétido al golpearlas.

4. *Fácies lacustre*.—Comprende las formaciones depositadas en el fondo de los lagos, que se distinguen siempre de las marinas por los fósiles que encierran, en general completamente distintos, entre los que faltan constantemente ciertos grupos: *Foraminíferos*, *Co-*

ralarios, Braquiópodos, Espongiarios, Pterópodos Cefalópodos, etcétera.

En general, se pueden distinguir los mismos tipos que entre las fácies marinas:

a) *Fácies planktónica*.—Contiene casi exclusivamente *Diatomeas*, de formas muy variadas, cuyas especies se cuentan por millares en la mayoría de las formaciones (1); *Gallionella*, *Synedra*, *Cocconema*, *Eunotia*, *Fragilaria*, *Pinnularia*, *Gomphonema*, *Coscinodiscus*, etc., entre las más frecuentes, y que por su acumulación dan origen a rocas especiales, muy porosas, utilizadas en la industria como vehículo de ciertas sustancias (nitroglicerina), que se conocen con el nombre de «trípoli» o «harina fósil» (fig. 6).

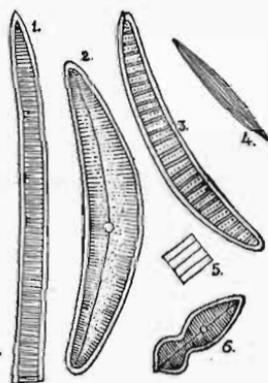


Fig. 6.—Diatomeas de agua dulce del Trípoli mioceno de Morón (Cádiz)
1.—*Synedra capitata*. 2.—*Cocconema asperum*. 3.—*Eunotia granulata*. 4.—*Pinnularia amphyxis*. 5.—*Fragilaria rhabdosoma*. 6.—*Gomphonema laticeps* (x 1.000)

El plankton lacustre de diversas épocas, puede además reconocerse por la presencia de pequeños crustáceos Ostrácodos (*Cypris*), que abundan en las aguas dulces de los lagos actuales, y se encuentran muy parecidos no solamente en los estratos terciarios y en la base del Cretácico de fácies lacustre (Wealdense), sino tam-

(1) Ehrenberg.—»Microgeologie das Erden und Felsen schaffende.«.....—Leipzig, 1854.

bién en plena formación carbonífera (cuena de Saint-Priest, en Saint-Etienne, Francia (1).

b) *Fácies nectónica y pelágica*.—Puede decirse que los únicos animales realmente pelágicos que habitan los lagos, y en general las aguas dulces, son los peces, en los que por corresponder a formas muy próximas a las actuales, y en la mayoría de los casos, a los mismos géneros, reconocemos especies dulceacuícolas.

En ocasiones, se encuentran tales peces en cantidad asombrosa, como los ejemplares de *Leuciscus Pachecoi* del Mioceno lacustre de los alrededores de Teruel (2), del tamaño de sardinas pequeñas, o los pequeños *Lebias*, caracterizando casi siempre formaciones del Terciario.

c) *Fácies bentónica*.—Las diferencias entre los sedimentos lacustres que se depositan en el litoral, y los que se forman a cierta profundidad, teniendo en cuenta que en los lagos esta es siempre reducida, se refieren al tamaño de los elementos que forman las rocas detríticas, que mientras en las zonas litorales son gruesos (aluviones con cantos rodados, pudingas, areniscas gruesas), en las partes más profundas y más alejadas del litoral, que podríamos llamar neríticas, son más finos (arenas, margas), pero los elementos paleontológicos son siempre los mismos, con pocas variantes.

La vegetación litoral es muy característica; cañas, nenúfares, etcétera, y sobre todo *Caráceas*, cuyas impresiones se encuentran en el Triásico, en el Jurásico y en el Cretácico, siendo frecuentes sus fructificaciones, mezcladas con los sedimentos en el Mioceno de nuestra Península (Mioceno lacustre de Oviedo), idénticas a las actuales.

En relación con la flora de los lagos, se desarrolla una fauna interesante de moluscos dulceacuícolas, de régimen herbívoro, se-

(1) Brongniart, Ch.—C. R. de l' Acad. des Scs., t. LXXXII, pág. 518, 1876.

(2) Royo, J.—«Los peces fósiles de los Algezares de Teruel».—Mem. R. Soc. Esp.^a de H. Nat., t. extraordinario del 50 aniversario, Madrid, 1921.

mejantes a los actuales; *Lymnea*, *Planorbis*, *Physa*, *Melanopsis*, etcétera, que son especialmente abundantes en los últimos pisos del Mioceno (Calizas de los Páramos; de edad Pontiense), encontrándose las más de las veces al estado de moldes (1).

También los *Insectos* han dejado huellas de su existencia en las riveras de los lagos cenozoicos, especialmente las larvas que viven en aguas poco profundas, y sobre todo las de *Friganea*, cuyas «vainas» formadas de la aglutinación de diversos materiales, dan lugar cementadas por caliza a depósitos de alguna importancia.

Sobre las rocas sedimentarias que se forman en la orilla de los lagos, encontramos accidentalmente huellas del paso de animales, especialmente *Anfibios* (huellas de *Cheirotherium* en los lagos triásicos) y *Aves* (en los depósitos de yesos miocenos), y tampoco es raro encontrar restos de animales francamente aéreos, especialmente insectos, como ocurre en la curiosa fauna contenida en las margas bituminoso-azufrosas de origen lacustre del Mioceno de Libros (Teruel), que comprende ranas, salamandras, aves acuáticas numerosas larvas acuáticas de insectos, y adultos alados.

Relacionada con la fácies lacustre, se encuentra otra que comprende los depósitos en aguas sobresaturadas de sales cálcicas, sódicas, potásicas y magnésicas, en cuyo fondo se depositan importantes espesores de yeso, sal común, silvina, carnalita, polihalita, thenardita, glauberita, epsomita, etc.

Estas formaciones adquieren importancia en varios momentos de la historia de la tierra; los importantes depósitos de Stassfurt (Alemania) con más de 300 m. de espesor de sedimentos corresponden al Pérmico, en las formaciones del Trias superior ó Keuper son frecuentes las fuentes salinas que a veces son objeto de explotación (Imón en la provincia de Guadalajara, y Medinaceli en la de Soria), los criaderos de Suria y Cardona, tal vez los de mayor importancia mundial, corresponden al Oligoceno, y en el Mioceno,

(1) Rojo, J.—«El Mioceno continental ibérico y su fauna malacológica».—Junta Ampl. Estudios, sér. paleont., n.º 30, Madrid, 1922.

son muy frecuentes las impregnaciones de sales sódicas y magnésicas que dan origen a aguas de efectos purgantes (Carabaña en la provincia de Madrid), además de los importantes yacimientos de yeso de primera calidad diseminados en las dos mesetas castellanas.

La fauna de estas fácies salinas es muy pobre, generalmente falta por completo, y cuando no, se reduce a moluscos bivalvos (*Estheria*) y análogos, adaptados a la vida en aguas muy salinas.

5. *Fácies fluvial*.—Los depósitos sedimentarios fluviales se reducen a aluviones o pudingas (según su edad) y arenas cuya estratificación entrecruzada es característica. En los primeros rara vez se encuentran fósiles, pero en las segundas son frecuentes las brechas de huesos de los animales que frecuentaron sus orillas o sus aguas, contándose entre aquéllos las aves de diversas especies, (*Gastornis* del Eoceno del Bas-Medon), los grandes reptiles de la Era Secundaria (*Iguanodon Bernissartensis* del Jurásico Portlandiense de Bernissart en Bélgica (1) del que han aparecido gran cantidad de esqueletos completos en lo que debió ser un gran valle fluvial), mamíferos (*Hipparion*, *Mastodon*, *Rhynoceros*, etc., que durante el Mioceno superior poblaron en gran abundancia las mesetas castellanas) (2), y entre los verdaderamente fluviales los peces, los cocodrilos y tortugas (3) (*Testudo Bolivari* del Tortoniense de los alrededores de Madrid), no siendo raro encontrar esqueletos completos de tales animales.

Finalmente, en los cursos de agua que llevan en disolución gran cantidad de anhídrido carbónico y discurren por terrenos calizos, tiene lugar la formación de «tobas» y «travertinos» sobre los vegetales bañados por el agua (musgos, algas, plantas acuáticas), pues

(1) Dupont, E.—«Sur la découverte d'ossements d'Iguanodon, de poissons et de végétaux dans la fosse Sainte-Barbe du charbonnage de Bernissart».—Bull. de l'Acad. Roy. de Belgique, 2, XLVI, p. 387, 1878.

(2) Hernández-Pacheco, F.—«Geología y Paleontología de los alrededores de Valladolid».—Junta Ampl. Estudios, serie Paleontol., n.º 37, Madrid, 1930.

(3) Royo, J.—«Las grandes tortugas fósiles de la Ciudad Universitaria (Madrid)».—Bol. R. Soc. Esp.^a H. Nat., t. XXXIV, n.º 8-9, Madrid, 1934.

al absorber anhídrido carbónico para su función clorofílica, precipitan carbonato cálcico que poco a poco va recubriendo sus ramas y hojas, quedando al desaparecer el vegetal su molde externo. En todo el Terciario son frecuentes estas formaciones de Travertino, y en ellas se estudia fácilmente la flora fósil, rellenando previamente los huecos con cera, y disolviendo luego la caliza con un ácido diluido.

6. *Fácies de Estuario*.—Los estratos en que aparecen asociados fósiles marinos, otros de agua dulce, y restos de vegetales o animales aéreos, hay que suponerlos depositados en la desembocadura de los ríos.

Los depósitos de carbón de piedra de la época carbonífera, pueden en general considerarse formados de esta forma, siendo frecuente en ellos la presencia de estratos con fauna marina (*Braquiópodos*, *Peces*, *Cefalópodos*) alternando con otros en que aparecen restos de Crustáceos y Arácnidos de aguas salobres (*Gigantostráceos*), o restos de vegetales (*Sigillaria*, *Lepidodendron*, *Calamites*, *Pteridospermeas*) asociados a insectos y arácnidos terrestres (1) y hasta moluscos (*Anthracosia carbonaria*) que viven en zonas de aguas mezcladas en las desembocaduras de los ríos.

Formaciones también de estuario, y de gran importancia económica, son las que se depositan en el Infracretáceo a favor de la gran transgresión marina que tiene lugar, y que en nuestra península es excepcionalmente importante, (2) encontrándose sobre rocas detríticas (arenas, arcosas, molasas, margas) restos de peces Ganoideos indudablemente marinos (*Lepidotus*), moluscos marinos (*Arca*, *Nacula*, etc.), equínidos (*Diadema*, *Pygaster*, etc.), moluscos de

(1) Dawson, M.—«Geology of Nova Scotia or Acadian geology».—Londres, 1891. Fayol, M.—«Etudes sur le terrain houiller de Commeny», v. I. París, 1887. Patat, I.—«Relaciones estratigráficas entre varias cuencas hulleras de Europa precedidas de un estudio preliminar sobre genética de las cuencas hulleras».—Bol. Inst. Geol. de España, t. LVI, Madrid, 1943.

(2) Meléndez, B.—«Las formaciones del Infracretáceo de Asturias».—Notas y Com. del Inst. Geol. y Min. de España, n.º 13, Madrid, 1944.

aguas salobres (*Gtauconia*), y restos vegetales, generalmente de *Cóniferas* cuyas resinas están transformadas en ambar, que dan lugar a yacimientos de lignitos que suelen ser objeto de explotación industrial, y sobre los cuales son frecuentes los Moluscos Bivalvos perforantes (*Teredo*, *Teredina*, etc.)

Por último, relacionados con esta misma fácies, aparecen una serie de depósitos orgánicos, que van desde las impregnaciones bituminosas a los criaderos petrolíferos, que tienen por origen la materia orgánica que se deposita en estas zonas en que por variaciones de la salinidad del agua, mueren enormes cantidades de seres planktónicos que no soportan tales cambios.

7. *Fácies de fuentes termales*.—Aunque escasos, son muy interesantes los depósitos de las aguas termales, a base de algas principalmente *Diatomeas* que pueden vivir a temperaturas superiores a los 60°, y que dan lugar a la formación de rocas silíceas concrecionadas, que aparecen en los estratos del Terciario, demostrando con su presencia que en esta época han existido manifestaciones de este tipo, y que tales fuentes termales tuvieron una flora propia de algas microscópicas.

Por su pureza, son clásicos los nódulos de ópalo con *Diatomeas* del Terciario de Saint-Nectaire-le-Bas, en Auvernia (Francia).

8. *Fácies terrígenas*.—Los depósitos típicamente terrígenos son escasos, pues mientras el fondo marino o lacustre se está recubriendo continuamente por los sedimentos que sin cesar caen en la superficie de sus aguas o son arrastrados por ellas, los continentes están sometidos a un proceso de destrucción permanente, no siendo de extrañar por tanto, que la mayoría de los testimonios de la vida aérea en las épocas geológicas nos lleguen mezclados con otros de carácter marino o lacustre.

La región superficial del globo terráqueo está sometida a una erosión incesante, y sólo en circunstancias excepcionales pueden conservarse ciertos depósitos que, a pesar de todo, sufren continuas modificaciones y tarde o temprano acaban por desaparecer siendo transportados al fondo de mares o lagos.

Tales sedimentos se reducen casi exclusivamente a dunas, loess, algún resto de tierras vegetales y ciertos aluviones.

a) *Fácies de dunas*.—Las dunas después de fijadas, pueden quedar «fosilizadas» y se reconocen por la disposición estratificada de las capas de arena, en las que pueden encontrarse algunos Moluscos Gasterópodos terrestres.

b) *Fácies loésica*—El loess es la típica formación sedimentaria de origen aéreo. Está formado por las sustancias pulverulentas más ténues, predominantemente arcillosas, que a causa del viento recorren grandes distancias a gran altura, y quedan en suspensión en la atmósfera durante cierto tiempo, hasta que poco a poco caen al suelo o son arrastradas por la lluvia.

Estos materiales, forman vastos mantos de tierra suelta en los confines desérticos y en las estepas, igualando el relieve y formando amplias y uniformes mesetas que adquieren gran desarrollo en todo el mundo (China Oriental, N. América, Pampa Argentina, Siberia, Polonia, Bohemia, etc.), y son de extraordinaria importancia geográfica y económica.

En el Loess, son frecuentes los Moluscos terrestres, especialmente ciertos Gasterópodos, *Helix* y *Pupa*, cuyas especies son las mismas actuales o muy próximas a ellas, y toda suerte de restos de pequeños vertebrados, sobre todo de *Roedores* de exígua talla.

c) *Fácies de tierras vegetales*.—Las tierras vegetales es más raro que se encuentren como formaciones geológicas que encierren fósiles, pero con todo en algunos casos excepcionales se conservan retazos, como los «*dirt bed*» de la Isla de Portland, que consisten en capas arcillosas más o menos calcáreas, en las que se encuentran «in situ» cepas de *Cicadáceas* de época pliocena, en perfecto estado de conservación.

d) *Fácies de aluviones*.—Aluviones que contengan fósiles, son muy escasos. Podemos citar las terrazas fluviales en cuyos materiales se han encontrado excepcionalmente restos de la industria paleolítica y de animales contemporáneos, que sirvieron de alimento al hombre, principalmente Moluscos de agua dulce y huesos de mamíferos.

Algo análogo ocurre con las cavernas rellenas de aluviones y otros depósitos, que suelen contener varios estratos sucesivos con sílex tallados, diversos restos que atestiguan la mano del hombre prehistórico y huesos de animales que utilizó para su industria o alimento, como ocurre en la Cueva de la Paloma, donde se han encontrado todos los pisos desde el Achelense al Neolítico. (1).

El color de los sedimentos.—Es por completo accidental, y depende de sales de hierro u otras materias contenidas en los sedimentos.

El color *negro*, proviene de materias carbonosas incluidas en la masa de la roca, que reconocen un origen orgánico próximo o remoto, y que en muchos casos son causa del olor fétido que producen al golpearlas. En alguna ocasión especial puede ser debido a la presencia de bióxido de manganeso (pirolusita).

El color *amarillo* lo comunican los hidróxidos de hierro (limonita), que son el final obligado del ciclo de los compuestos ferruginosos en climas húmedos.

El color *rojo* se produce en climas áridos-secos por una peroxidación de los compuestos de hierro, con formación de hematites, y tiene gran importancia por lo que nos revela del clima que reinaba en la época del depósito, condiciones climáticas que se han repetido con frecuencia en el transcurso de los tiempos geológicos; en el Devónico (Old red sand-stone), en el Pérmico (Rotlignende), en el Trias (Buntersandstein y Keuper), en el Paleógeno, etc.

El color *verde* lo provoca en las rocas sedimentarias la presencia de un hidrosilicato de hierro (Glaucónia), y en las metamórficas, ciertos silicatos complejos, hidratados, con hierro (cloritas).

Puede decirse, que salvo casos excepcionales, todas las coloraciones que presentan los sedimentos resultan de la combinación de los anteriores, produciéndose a veces cambiantes y variaciones muy típicas, como las coloraciones características de las «margas irisadas» del Trias (Keuper).

(1) Obermaier, H. «El hombre fósil». Junta para ampliación de estudios, serie prehistórica, n.º 9, Madrid, 1925 (2.ª Edición)

IV. ALGUNOS PROBLEMAS RESUELTOS

El campo de la Paleobiología es prácticamente ilimitado. En el capítulo anterior hemos pasado revista a los distintos medios biológicos en el pasado de la tierra, y hemos tenido ocasión de sorprender en cada fácies las mismas asociaciones biológicas de conjunto que observamos en la actualidad, pero con intervención de grupos de organización, a veces radicalmente distinta a la de los organismos actuales.

El verdadero interés de los problemas paleobiológicos estriba en llegar al conocimiento de las condiciones de vida de tales grupos de organismos actualmente extinguidos, y de sus mutuas relaciones con los demás seres vivos contemporáneos.

Sin pretender en el reducido espacio de que disponemos, hacer un estudio completo y meticulado de los innumerables problemas planteados en este campo, vamos a exponer algunos casos que sirvan como ejemplo de método a seguir y de resultado obtenido en tan interesantes estudios.

I. *Los Graptolites*

Se trata de un grupo de organismos fósiles completamente extinguidos y confinados en el Silúrico, sin que actualmente conozcamos nada comparable a ellos en su aspecto ni en su organización.

Son conocidos desde muy antiguo, y su etimología (del griego γραπτός=grabado, y λίθος=piedra) alude a su presentación muy llamativa, sobre las lajas pizarrosas, como varillas dentadas aplastadas, semejantes a trazos de color blanco en el fondo negro de la roca.

La verdadera naturaleza de tales organismos no fué conocida hasta fines del siglo pasado, en que Ruedeman encontró ejemplares completos que presentaban varias de las anteriores varillas uni-

das entre sí irradiando de un centro común (*funiculo*), y en estudios posteriores se reconoció la presencia de un *pneumatóforo* central de forma octaédrica con las caras abombadas, y que los *rhabdosomas* estaban soldados a un *disco* o *cápsula central* cuadrangular, conservando el conjunto simetría radiada con cuatro varillas largas en cruz, otras cuatro intermedias algo más cortas, ocho entre éstas y aquéllas de menor tamaño, etc. (fig. 2).

Estudios más minuciosos permitieron conocer la estructura interna de los *rhabdosomas* o varillas (únicos que se conocían de antiguo, aislados, sobre las pizarras), resultando que estaban formados por una o dos series de celdillas dispuestas a continuación una de otra y comunicando por un canal longitudinal, de forma análoga a como aparecen en ciertos Hidrozoos actuales (*Sertularia*), lo cual indujo a suponer fundadamente que estas tecas estarían habitadas por pólipos, y que el conjunto de la colonia flotaría en el agua merced al *pneumatóforo*. La falta de indicios de la existencia de medios de locomoción propios de la colonia, obligó a incluir tales organismos en la categoría de planktónicos, y el encontrarse en formaciones de fácies batial y abisal, da pie para suponer que habitarían las aguas profundas oceánicas, asemejándose a los actuales *Sifonóforos*.

En la mayoría de los casos, el estudio del esqueleto de los *Graptolites*, que con toda probabilidad sería quitinoso, y aparece transformado por la fosilización en pirofilita (silicato hidratado, análogo al caolín), no revela diferencias morfológicas entre las tecas de un mismo *rhabdosoma* ni entre los de la colonia, por lo que es de presumir que en estos animales, la división del trabajo fisiológico no estaría muy avanzada.

Con todo, en ejemplares bien conservados, aparecen alrededor del *pneumatóforo* unas esferas ténues, de aspecto transparente (*gonotecas*) unidas a la *cápsula central*, en cuyo interior se alojan unos órganos semejantes a embudos terminados en una espina (*sículas*)

y unidos por el vértice al disco en un punto *siculostilo*. La presencia de una *sícula* en el extremo de cada *rhabdosoma*, y el haberse encontrado en una misma colonia, *rhabdosomas* en diferentes estados de desarrollo, llevó a la conclusión de que éstos se formarían a partir de la *sícula*, que por gemmación produciría sucesivas *tecas* hasta completar el *rhabdosoma*. De esta forma se iría enriqueciendo la colonia, pero como quiera que también se han encontrado *sículas* aisladas, en cuyo extremo aparece un disco en formación, resulta lógico suponer que ésta sería otra modalidad de reproducción, y que las *sículas* liberadas de las *gonotecas* darían lugar a una nueva colonia, habiéndose en efecto encontrado colonias formadas por dos o cuatro *sículas* en principio de desarrollo, unidas entre sí y con pneumatóforo incipiente.

En algunos casos (*Graptolites dendroideos*), se han encontrado en la colonia *tecas* de dos tipos, como en *Dictyonema*, interpretándose las más pequeñas y numerosas como celdillas para alojamiento de los *gasterozoides*, y las mayores, como destinadas a alojar *gonozoides*, relacionados con la reproducción sexual de la colonia.

Véase pues, de qué forma ha sido posible reconstruir no sólo la organización de un grupo biológico tan alejado de los actuales como son los *Graptolites*, sino también su género de vida y demás particularidades que constituye en una palabra la paleobiología de estos seres, de los que únicamente poseemos la impresión de sus esqueletos conservada en las pizarras silúricas durante más de 600 millones de años.

2. *Paleobiología de los Trilobites*

En relación con los *Trilobites*, se plantean una serie de problemas, que aunque actualmente pueden considerarse resueltos en su mayor parte, han sido motivo de controversia acalorada por parte de numerosos paleontólogos.

En primer lugar, se presentaba la cuestión de buscar su exacta

posición sistemática, girando siempre la duda sobre si deberían agruparse con los *Merostomas* en el filum de los *Quelicerados*, o con los *Crustáceos* en el de los *Antenados*.

Hay que reconocer que la morfología general de su cuerpo, dividido en tres regiones, con un escudo cefálico semilunar, tórax (abdomen según los defensores de esta hipótesis) y pigidio (que se identificaba con el telson), parece relacionarlos con el *Limulus* actual, y más aún teniendo en cuenta que en el desarrollo ontogénico de este último existe una fase larvaria con el abdomen segmentado, y con la trilobación longitudinal bien marcada que recuerda exactamente a los *Trilobites*, por todo lo cual, llevados de una primera impresión, y teniendo en cuenta la ley biogenética, bien podría suponerse que los *Xifosuros* actuales derivasen de los *Trilobites* paleozoicos. Además, según luego veremos, el género de vida de algunos de éstos debió ser idéntico al del actual *Limulus*.

Sin embargo, gracias a los hallazgos de Walcott en las pizarras arcillosas del Cámbrico y Silúrico del Canadá (1), cuyos ejemplares (*Triarthrus*, *Calymene*, *Olenellus*, etc.) presentaban los apéndices en perfecto estado de conservación, y especialmente los apéndices cefálicos que hasta entonces no habían sido estudiados, teniendo en cuenta la presencia de un par de antenas filiformes, que los demás apéndices cefálicos corresponden exactamente a los de los *Crustáceos Entomostráceos*, que los torácicos se identifican perfectamente con los de los *Filópodos*, y que incluso existen un par de cercos en el último segmento del pigidio, parece indudable que los *Trilobites* deben colocarse entre los *Crustáceos Entomostráceos*, junto a los *Filópodos*. Además, el mismo autor, ha encontrado formas como *Merella splendens* en que con el aspecto general de un *Filópodo* puede reconocerse la organización típica de los *Trilobites*.

Respecto a su género de vida, es de suponer que tal como ocurre con los actuales *Crustáceos*, a los que en cierto modo reempla-

(1) Walcott, Ch. D.-«On the appendages of *Trilobites*».-Smith. Misc Coll., vol. IV, n.º 4, 1918.

zaron en el Paleozoico, hasta el punto de llamarse a esta Era la «Edad de los Trilobites», debió haberlos de costumbres muy diversas.

Los apéndices cefálicos (excepto las antenas), están provistos de una cadera masticadora, lo que supone serían de régimen carnívoro como los actuales Crustáceos.

En general los apéndices torácicos son birrámeos, con un epipodito branquial, el exopodito dispuesto para la marcha, y el endopodito foliáceo terminado en una paleta para la natación. Esto hace suponer que su método normal de locomoción sería caminando por el fondo marino, y se han encontrado ciertas huellas que el mismo Walcott atribuye con fundamento al paso de *Trilobites*, pero siendo aptos para la natación, es más que probable que anduviesen a trozos, elevándose de cuando en cuando sobre el fondo y nadando libremente, como observamos en ciertos Crustáceos actuales (*Palemon*).

Sin embargo, hay algunos, cuyo caparazón extraordinariamente erizado de espinas y provisto de prolongaciones (*Radiaspis*, *Cerarurus*, etc.), no es propio para este género de vida, siendo lo probable que estemos en presencia de formas nectónicas (análogas a los *Copépodos*) con más o menos autonomía de movimientos, pero que rara vez visitarían los fondos marinos.

Existen por otra parte Trilobites desprovistos de ojos (*Trinucleus*, *Agnostus*, *Microdiscus*, *Harpes*, etc.), que en principio se pensó serían formas adaptadas a la vida abisal, pero teniendo en cuenta que sus restos aparecen relacionados con sedimentos de fácies costera o nerítica, es decir, que habitaban aguas bien iluminadas por los rayos solares, hubo de concluirse que su género de vida sería análogo al de los *Limulus* que rara vez salen del fango en que viven enterrados, manifestándose en aquéllos la adaptación a este tipo de vida limnícola en otros muchos caracteres, como son el escudo cefálico aplastado con el limbo ancho y adelgazado por delante para facilitar la penetración en el fango, el tórax y pigidio muy reducidos y alojados en una escotadura posterior del escudo cefálico.

co (*Trinucleus*, *Harpes*) o tórax con dos o tres segmentos y pigidio grande análogo a la cabeza, etc. (fig. 5, 1 y 2).

Al lado de éstos, tenemos otros en que los órganos de la visión están también atrofiados en mayor o menor grado, (*Paradoxides*, *Conocoryphe*, *Ptychoparia*), pero que presentan una organización poco adecuada a la vida limnícola, con el tórax muy desarrollado, con espinas pleurales, pigidio pequeño, escudo cefálico abultado con glabella prominente, etc., y que constantemente aparecen asociados a las fácies batial o abisal. Es lógico suponer que tales formas poblarían los mares profundos, y quizás formasen parte muchas de ellas de la fauna abisal que hoy día se reconoce aun en las mayores profundidades oceánicas medidas. (fig. 5, 3).

Finalmente hay formas provistas de enormes ojos compuestos con innumerables facetas, en disposición lateral, cubriendo gran parte del horizonte, a veces pedunculados, y que se presentan en ciertas formas reputadas por otros caracteres como nectónicas. Se trata sin duda de (*Trilobites* típicamente pelágicos, con seguridad buenos nadadores, algunos de los cuales, de ojos verdaderamente telescópicos poblarían tal vez los mares abisales, (*Phacops*, *Dalmanites*, etc.)

La mayoría presentan la particularidad de poderse arrollar en bola como los *Isópodos*, por la movilidad de sus anillos torácicos, de forma que el pigidio encaja perfectamente en la parte inferior del escudo cefálico (fig. 5, 4). Este parece ser el único medio de defensa que poseían los *Trilobites*, pues en tal postura quedan ocultos todos sus apéndices, y la región ventral desprovista de caparazón protector, lo cual por otra parte era suficiente en unos mares en los que no se conocen enemigos formales de aquellos, y precisamente, su desaparición al final del Paleozoico, se relaciona con el desarrollo de otros grupos de mayor talla y más poderosamente armados, como los *Gigantostráceos* y los *Peces*.

3. Los *Arqueociátidos*

En 1873 fueron descubiertos por Billings en el estrecho de Belle-Isle (Canadá), en estratos calizos referibles al Cámbrico medio

(Acadiense). Se presentaban en sección como dos círculos u óvalos concéntricos unidos por multitud de radios, y resultó formado su esqueleto por dos paredes cónicas concéntricas relacionadas por numerosos tabiques radiales y por otros horizontales anulares. Particularidad interesante; todas estas láminas y tabiques aparecían perforadas por innumerables orificios, con aspecto de criba.

Estudiados por su descubridor, fueron considerados como *Coralarios* primitivos, y a ello alude su etimología (del griego ἀρχαῖος = antiguo, y κόραθος = ciato), interpretando la pared externa como epiteca, y los tabiques radiales como los tabiques propios de los *Coralarios*.

Sin embargo, no todos los Paleontólogos se mostraron conformes con tal determinación, y a causa de haberse encontrado ciertas espículas (que luego resultaron de otra esponja), surgió la idea de que tales organismos pudieran muy bien ser *Esponjas*, o más bien un grupo intermedio, de paso.

Se suscitó con este motivo una acalorada disputa sobre la verdadera posición sistemática del grupo. Para unos seguían siendo *Coralarios*, para otros eran *Esponjas*, para la mayoría formaban el paso de unos a otros, y no faltó quien los consideró como *Foraminíferos*, como *Algas Calcáreas* o como *Receptaculítidos*. (1).

Poco a poco, sin embargo, se fué reconociendo su verdadera posición sistemática, y quedaron únicamente frente a frente las dos opiniones más autorizadas, en el dilema: *Coralarios* o *Espongiarios*.

La base de la primera, a parte de su forma general que recuerda la de ciertos *Coralarios* paleozoicos (*Zaphrentis*, *Cyathaxonia*), era la presencia de una muralla externa o epiteca y de tabiques radiales perfectamente desarrollados, que no se observaban en ninguna esponja.

(1) Meléndez, B.—«Observaciones respecto al grupo de los Arqueociátidos». *Las Ciencias*. T. VIII, pág. 285, Madrid, 1943.

Sin embargo, teniendo en cuenta: a) Que el número de éstos no se rige por ninguna ley y que con el desarrollo del organismo aparecen otros nuevos por intercalación o ramificación, sin seguir un orden determinado. b) Que la muralla externa tiene una homóloga en la muralla interna (caso que nunca se ha observado en los *Coralarios*), que limita hacia dentro los tabiques dejando la parte central libre, que en el animal vivo debió estar hueca y desempeñar un papel análogo al de la cavidad atrial de los *Espongiarios*. c) Que la única diferencia que existe entre los *Arqueociátidos* y los *Espongiarios* es el estar reemplazadas las espículas por tabiques perforados, siendo perfectamente posible que a través de las paredes existiese una corriente de agua de fuera a la cavidad atrial, y es interesante hacer notar que por Ting (1939) han sido observadas estructuras tanto en la pared interna como en la externa, destinadas a dirigir hacia el ósculo la corriente de agua. Por todas estas razones, se consideran definitivamente como *Espongiarios*, y si hemos de hacer caso a ciertos autores, incluso como *Esponjas Silíceas*.

La naturaleza de su esqueleto fué así mismo motivo de discusión, quedando al fin sentado que debió ser silíceo, aunque por epigénesis en algunos casos aparezca transformado en calcita.

Otras muchas particularidades de estos interesantes organismos han sido determinadas, como la existencia de fenómenos de gemación que darían origen a formas coloniales ramificadas, y según Vologdín (1937), su reproducción debió verificarse de forma análoga a la de las *Esponjas* actuales, mediante una larva ciliada (*Sphaerion*), que se proveía de una doble cápsula porosa (*Dollium*) y después de fijarse al fondo marino daría origen al adulto.

La particularidad más interesante de los *Arqueociátidos*, consiste en su género de vida sedentario y gregario, formando arrecifes neríticos, por lo que son elemento de primer orden para la determinación de las costas en la base del Paleozoico, y su repartición geográfica universal, en los cinco continentes, nos indica claramente la uniformidad del clima que debió presidir en aquellos remotos tiempos.

4. Casos de Parasitismo

Entre todas las asociaciones de seres distintos, es el Parasitismo la que por su especialización más acentuada deja más profundas huellas tanto en el huésped como en el parásito, y no es difícil de reconocer en los fósiles desde el Paleozoico a la actualidad.

Las conchas de *Moluscos* de todas las edades presentan perforaciones circulares debidas sin género de duda a animales parásitos que de esta forma atacan al Molusco, tal como vemos ocurre en los mares actuales.

Los casos de parasitismo revelados por el estudio de la flora fósil del Carbonífero son numerosos. En la hulla se ha podido demostrar la presencia de corrosiones en los tejidos vegetales que acusan la actividad del *Bacillus amylobacter* de las turberas actuales. En los radios medulares de *Calamodendron*, se ha demostrado la presencia de bacterias parásitas, y así mismo, Rouault ha reconocido en los vasos conductores de ciertos ejemplares silicificados de *Arthropilus*, que aparecen rellenos de mucílago, la presencia del *Bacillus colletus* en largas cadenas de pequeños bacilos que presentan una incipiente ramificación, y recuerdan a las de *Cladothryx Martii* de la turba. El mismo autor, ha encontrado en la madera transformada en hulla, filamentos indiscutiblemente micelianos de *Hypomyces stephanensis*, y en las pínulas de *Calypteris conferta* del Pérmico de Silesia, se han encontrado hongos del género *Excipula*.

En todo el Terciario, son frecuentes las hojas sobre las que aparecen marcas de hongos parásitos. Sobre las hojas de álamo se ha encontrado el *Sclerotium pustuliferum*, sobre las de un Laurel del Eoceno, el *Dothidoites Nerii*, y también hay ejemplos en el Mesozoico, como *Xylomides tuberculatus* que forma placas redondeadas sobre las hojas de *Zamites distans* del Liásico (Retiense).

5. Casos de Simbiosis

Se caracterizan por la asociación de dos individuos que resulta beneficiosa para ambos bajo algún aspecto, y de que han existido

en todos los tiempos geológicos, tenemos múltiples pruebas.

Sobre ciertas conchas se observan marcas análogas a las impresiones dejadas por las Actinias sobre los caracoles, y es muy frecuente el caso de encontrar colonias de *Briozos* fósiles, sobre diversas conchas, casos ambos muy frecuentes en la actualidad, sirviéndose el molusco del *Briozoo* o de la *Actinia* para su defensa mimética, mientras que éstos aprovechan los restos del alimento de aquél.

Es de suponer que los *Radiolarios*, conocidos desde el Precámbrico (fig. 1), hayan vivido siempre en simbiosis con las *Algas* unicelulares que actualmente invaden su protoplasma, pues de otra

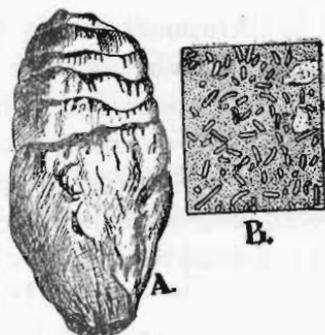


Fig. 7=Coprolito de un *Batracio* del Pérmico de Igornay (Autun).—A=ejemplar completo mostrando su estructura espiral, B=*Bacillus permienensis* en una sección delgada del mismo (x 1.000).

forma no se concibe cómo formas análogas a las actuales se proveerían del oxígeno necesario a su respiración.

Los *Líquenes*, caso típico de simbiosis entre un alga y un hongo, se encuentran sobre los trozos de corteza de las *Coníferas* que forman el lignito desde el Infracretáceo (*Graphis*, *Opegraphos*, *Lecidia*, *Pyrenula*), y en los trozos de ramas englobadas en el ámbar oligoceno (*Parmelia*, *Cladonia*, *Ramalina*, *Usnea*, etc.) (1).

Las deyecciones de animales fosilizadas, conocidas con el nombre de *Coprolitos* (fig. 7-A) se encuentran desde el Pérmico proce-

(1) Goppert.—«Ueber der Flora Bernsteins».

dentes de los grandes *Batracios* paleozoicos (1), y en ellos se han descubierto verdaderas colonias coprófilas (fig. 7-b) de *Micrococcus* y *Bacterias* (2) análogas a las que viven en simbiosis en el intestino de los Vertebrados actuales, y que accidentalmente provocan trastornos diversos.

Citaremos un último caso de simbiosis observado entre los *Gasterópodos* del género *Capulus* del Paleozoico, que viven fijos sobre los tallos y cálices de *Crinoides* y de *Cystideos*, habiéndose encontrado en diversas ocasiones ejemplares en posición (3). La boca de la concha de los *Capulus* adopta entonces una forma adecuada, en relación con la del tallo o cáliz del *Crinoide*.

V.—*La filogenia*

Sin entrar en discusiones sobre la realidad del proceso evolutivo de las especies animales y vegetales en el transcurso de los tiempos geológicos, lo cual nos llevaría fuera del terreno que tratamos, nos vamos a limitar a exponer unos cuantos resultados a que se ha llegado por el estudio de la Paleobiología, en estas cuestiones tan interesantes.

Las pruebas paleontológicas de la evolución son de primerísima categoría.

La paleontología no ha revelado ninguna clase de animales o vegetales que no posea representantes actuales, pero cuanto más nos alejamos del cuaternario, mayores son las diferencias entre las faunas y floras desaparecidas y las actuales. Este solo hecho capital, basta para sugerir la hipótesis transformista, y para darle una verosimilitud próxima a la evidencia. Si se negase tal teoría, habría

(1) Estos *Coprolitos* son especialmente abundantes en el Lias Sinemuriense de Lime Regis (Dorsetshire), y es interesante que tanto unos como otros presentan estructura espiral análoga a la de las deyecciones de los actuales *Seláceos* que poseen la llamada «válvula espiral» en su intestino, por lo que es de suponer que en los *Batracios* y *Reptiles* paleozoicos y mesozoicos, también existiría tal dispositivo.

(2) Un resumen de estos estudios se encontrará en la obra «Notice sur les travaux scientifiques de M. Bernard Renault», publicada en Autun, 1896.

(3). Meléndez, B.-«Nuevos datos para la estratigrafía del Paleozoico aragonés». Bol. R. Soc. Esp.^a H. Nat., T. XLII, Madrid, 1944.

que admitir que el Creador, ha procedido en sus obras sucesivas reproduciendo formas anteriores ligeramente modificadas. Ante esta consideración, parece infinitamente más probable, que si las formas actuales difieren menos de las del Terciario que de las del Paleozoico, es porque están genéticamente menos alejadas.

En algunos casos privilegiados, se llegan a establecer series genealógicas o filéticas que ligan formas fósiles, cuya filiación no se puede poner en duda. Hay que tener en cuenta, que como generalmente no se poseen más que eslabones sueltos y poco numero-

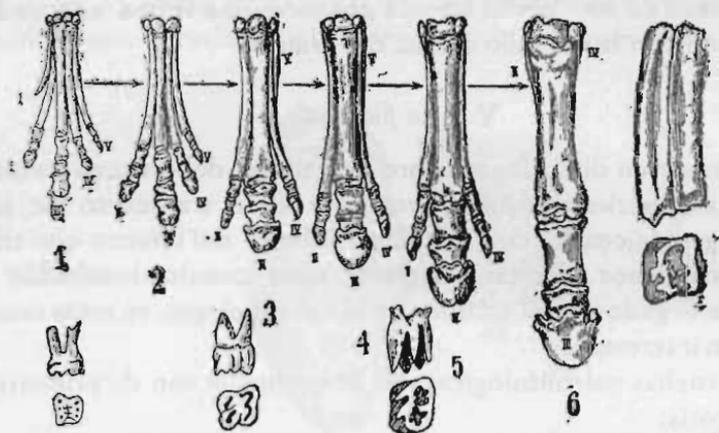


Fig. 8.—Evolución de los Equidos durante el Terciario

1=*Eobippus* (Eoceno inferior). 2=*Orobippus* (Eoceno superior). 3=*Mesobippus* (Oligoceno inferior). 4=*Miobippus* (Oligoceno superior). 5=*Merychippus* (Mioceno medio). 6=*Equus* (Cuaternario). Obsérvese la reducción progresiva de los dedos laterales en las extremidades, robustecimiento del central, complicación de los repliegues de esmalte en los molares, y aumento de talla de los mismos.

sos de la serie, a veces separados por millones de años, tiene que existir forzosamente cierta duda al establecer los filums, y que estudios bien fundamentados han obligado a menudo a los paleontólogos a abandonar ciertas genealogías establecidas y buscar otras nuevas, y que así mismo, se proyectan con frecuencia genealogías completamente fantásticas.

Sin embargo, hay series filéticas indiscutibles, como la que sigue por ejemplo desde el Eoceno inferior hasta el Plioceno, series de mamíferos que pueden figurar como ancestrales del caballo actual (fig. 8); *Eobippus*-*Orobippus*-*Mesobippus*-*Miobippus*-*Merychippus*-

Pliohippus-Equus. En ella se sigue la transformación gradual de un miembro de cinco dedos independientes en otro monodáctilo que presenta rudimentos de dedos laterales, y la progresiva complicación de los molares, en los que aparecen nuevos repliegues de esmalte, al mismo tiempo que aumentan de tamaño y se sueldan sus raíces.

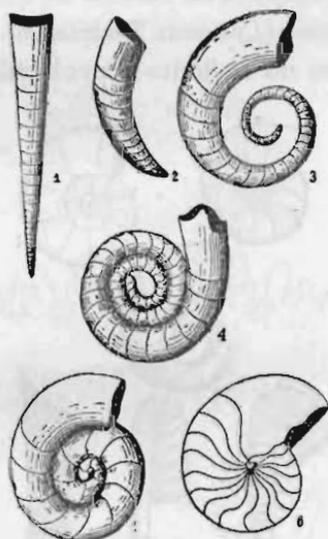


Fig. 9.—Arrollamiento progresivo de la concha de los Nautiloideos en el Paleozoico: 1=Ortocerátidos (Silúrico inferior). 2=Cyrtocerátidos (Silúrico). 3=Gyrocerátidos (Devónico). 4=Ophidióceras (Silúrico-Devónico). 5=Vestinautilus (Carbonífero). 6=Nautilus (Mesozoico-actual)

Otro caso bien establecido podemos encontrarle entre los Cefalópodos Nautiloideos del Paleozoico, en los que desde el Cámbrico inferior hasta el Pérmico se observa un progresivo arrollamiento de la concha, empezando por formas de concha recta (*Ortocerátidos*), pasando por formas con espira más o menos libre (*Cyrtocerátidos*, *Gyrocerátidos*, *Ophidióceras*), y terminando por formas completamente arrolladas (*Vestinautilus* del Carbonífero) que dan paso a las de espira completamente abrazadora, sin ombligo, del Mesozoico (*Nautilus*) (fig. 9).

Dentro de los *Ammonitoideos*, se observa en ciertos grupos un fenómeno contrario; por ejemplo, en la familia de los *Litocerátidos*, una de las más importantes que evolucionan en el Jurásico y Cretácico, pasamos de formas completamente arrolladas, con espira abrazadora, (*Lytóceras Germanii* del Liásico) a otras completamente desarrolladas y de concha recta (*Baculites* del Cretácico superior), mediante una serie completa de formas en que el desarrollo progresivo está bien patente (*Lytóceras Fimbriatum*-*Pictetia*-*Hamites*-*Ptychóceras*) (Fig. 10). Pero no se limita la evolución comprobada den-



Fig. 10.—Desarrollo progresivo de la concha en los *Ammonites Litocerátidos* durante el Liásico-Cretácico: 1=*Lytóceras Germanii* (Toarciense). 2=*Lytóceras Fimbriatum* (Bajociense). 3=*Pictetia Astieriana* (Albiense). 4=*Hamites rotundus* (Gault). 5=*Ptychóceras Puzosianum* (Albiense). 6=*Baculites anceps* (Senonense).

tro de los Cefalópodos al aspecto externo de su concha, sino que en general ésta se puede seguir paso a paso en los menores detalles de ornamentación, de sección de la espira, y sobre todo, en la línea de sutura entre los tabiques y la concha.

Es este uno de los casos mejor establecidos de la Paleontología, gracias a la buena conservación que en general presentan los

fósiles de estos animales. Así es posible seguir en detalle la evolución de la sutura desde los casos más sencillos, que se presentan en los *Nautiloideos* hasta los más complicados de los *Ammonites* jurásicos, como por ejemplo, la filogenia de los *Filocerátidos* (fig. 11),

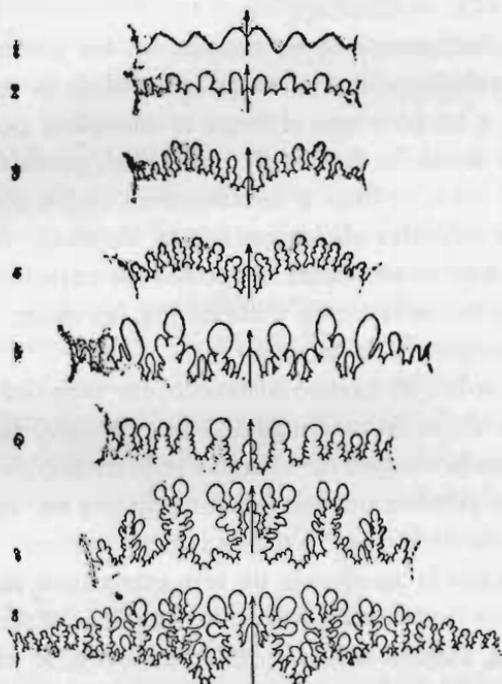


Fig. 11.—Evolución de la línea de sutura en los *Ammonites*: Tipo GONIATITOIDE; 1=*Cheilóceras* (Devónico superior). Tipo CERATITOIDE; 2=*Agathiceras* (Carbonífero superior), 3=*Waagenóceras* (Pérmico inferior), 4=*Cyclolobus* (Pérmico superior). Tipo NEOAMMONOIDE; 5=*Monophyllites* (Trias inferior), 6=*Megaphyllites* (Trias medio), 7=*Rhacophyllites* (Trias superior), 8=*Phyllóceras*.

que derivan de ciertos *Monofilitidos* del Trias, los cuales a su vez proceden de tipos *Ceratitoides* pérmicos cuyo origen se remonta a formas como *Cheilóceras* del Devónico superior, con línea de sutura sencilla de tipo *Goniatitoide*.

El examen de un gran número de series filéticas bien estableci-

das, como las que hemos tenido ocasión de ver, podemos decir que permite establecer ciertas leyes paleobiológicas, según las cuales, la aparición de una forma determinada, obedece a reglas que fijan en el tiempo y en el espacio su lugar natural.

Y para concluir, citaremos palabras tan autorizadas como las de M. Le Roy (1):

«De cualquier forma que se consideren las partes dilucidadas »por la paleontología, sobre un mapa general de la vida, se ve que »se unen unas a otras, y que el mapa se completa poco a poco y »gradualmente toma la forma de un árbol genealógico. Como »quiera que se mire, se llega a conclusiones indiscutibles. Apare- »cen pequeños animales de organización confusa, con múltiples »afinidades en que se entremezclan todos los caracteres, y que no »se sabe a ciencia cierta cómo clasificarlos, es decir, se concluye »que hay convergencia hacia atrás».

«Sin duda, sobre el cuadro obtenido, las especies no se colo- »can sino raras veces en prolongación una de otra. Su disposición »evoca más bien la imagen de escamas imbricadas, de hojas cuyos »pedúnculos se pierden porque están envueltos en vainas sucesi- »vas que se unen en la base. Cuanto más se remonta hacia el ori- »gen, más se acusa la apariencia de una estructura pinnada cuyas »ramas aparecen separadas del tronco, que llega a ser un eje ideal, »pero las ramas, aunque aisladas, guardan entre sí tal semejanza »que no pueden dejar de reconocerse como pertenecientes al mis- »mo árbol, aunque no se sepa con exactitud su punto de inser- »ción».

(1) Le Roy, O.P.—«L' evolution des espèces organiques», 1887.

VI.—PALEOBIOLOGIA HISPANA

En relación con nuestra Península, uno de los problemas fundamentales que resuelve la Paleobiología, especialmente el estudio de las fácies estratigráficas, es la delimitación de tierras y mares en el transcurso de los tiempos geológicos, y con más detalle, el estudio de las zonas neríticas, estuarios, lagunas y pantanos de agua dulce o salobre, regiones de mares profundos, etc.

1.—EL PALEOZOICO.—a) *Cámbrico y Silúrico*.—Al comenzar la Era Primaria, la mayoría de la Península debió estar cubierta por el mar. Todos los sedimentos del principio de esta Era acusan un régimen francamente marino, y en su mayor parte, de aguas profundas. Únicamente en el Cámbrico medio, las calizas con *Arqueociátidos* que se encuentran en una zona alineada de NW a SE desde Badajoz a Córdoba, indican por su carácter nerítico la presencia de un litoral que lógicamente se desarrollaría al SW ya que hacia el NE los depósitos son en aquella época francamente batiales y aún abisales, formados por grauweekas muy finas y pizarras arcillosas o cuarcitosas con *Paradoxides*, *Conocoryphe*, *Ptychoparia*, etcétera.

A principios del Silúrico, se manifiesta una sensible elevación del fondo marino en todo el ámbito peninsular, y es lo más probable que hubiese emergencia de tierra firme hacia el oeste, por la presencia de conglomerados silúricos en Extremadura, que más al este están reemplazados por cuarcitas con pistas y huellas de Gusanos y Algas (*Cruziana*, *Scolythus*, *Fraena*, *Fucoides*, etc.), de fácies francamente nerítica y costera, que forman un nivel muy constante en toda España, pero bien pronto suceden depósitos de pizarras de extraordinario espesor, cuya fauna de *Graptolites*, *Braquiópodos* y *Trilobites* demuestran la existencia de mares profundos sin que haya vestigios de costas ni de tierra firme.

b) *Devónico y Antracólítico*.—La distribución del Devónico en

la Península, es completamente distinta a la de los terrenos anteriores, y aflora bordeando el Macizo Hespérico, ya definitivamente emergido, con depósitos neríticos de mares epicontinentales en el sur y el borde oriental (areniscas y calizas con *Braquiopodos* y *Coralarios*) y grandes espesores de calizas de fácies batial (con *Cefalópodos*, *Pterópodos* y *Crinoides*) en el norte, en el Pirineo y Cataluña.

La distribución del Carbonífero, que por su interés industrial ha sido objeto de profundos estudios, es interesantísima, y permite darnos una idea de conjunto bastante clara de la configuración de las tierras en esta época y de las características de los mares.

El Dinantiense se caracteriza por el depósito de calizas de enorme espesor (Caliza de montaña) con *Goniatítidos*, *Crinoides*, etcétera, de fácies francamente batial, por lo que en esta época el Macizo Hespérico debió estar rodeado de mares profundos, pero desde el Carbonífero medio, cambia por completo el carácter de los sedimentos, y alternando con estratos pizarrosos con fauna marina nerítica (*Braquiopodos*, *Coralarios*, *Moluscos*), aparecen otras con profusión de restos vegetales entre las que se intercalan los lechos de carbón. Es decir, que la fácies es francamente de estuario, y como este tipo de formaciones rodean al Macizo Hespérico, es señal de que éste formaría una península unida por el NW al continente Noratlántico. Además, el estudio de la flora contenida en los estratos nos indica la presencia en toda la Península de frondosos bosques de *Sigilarias*, *Lepidodendros*, *Calamites Cordaitales*, y variadas *Pteridospermeas*, señal de un clima cálido-húmedo que debió reinar para que fuese posible el desarrollo de vegetación tan exuberante, y de cuando en cuando, sobrevendrían grandes tormentas, verdaderos «tornados» que arrasaban comarcas enteras, llevando los restos vegetales a zonas costeras, de estuario, donde se depositaron las que con el tiempo habrían de ser capas de hulla.

Al finalizar el Paleozoico (Estefaniense-Pérmico), se acentúa aún más el régimen continental de ciertas cuencas (Asturias, Portugal), en alguna de las cuales, junto a innumerables restos vege-

tales análogos a los ya descritos, se encuentran ciertos Insectos (Portugal), mientras que por el este y el sur, se extendería el mar libre, del que sin embargo emergerían los Pirineos (en cuya vertiente sur hay depósitos de carbón) y el Macizo Bético (fig. 12).

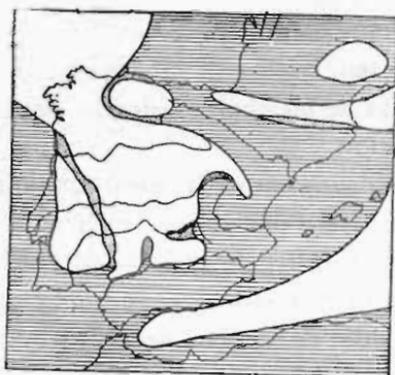


Fig. 12.—Distribución de tierras y mares (rayado) en la Península Hispánica durante el Carbonífero Superior. El punteado corresponde a zonas de sedimentación de hulla, y depósitos continentales

2.—EL MESOZOICO.—El tránsito del Pérmico al Triásico se suele realizar insensiblemente, por sedimentos detríticos cada vez más gruesos en que predomina el color rojo, señal de un clima cálido-seco que terminó con la exuberante vegetación carbonífera, y acusa al mismo tiempo una transgresión marina de este a oeste, que daría lugar a las areniscas del Rodeno que bordean las mesetas por el este, desarrollándose a continuación en esta zona un mar nerítico, en cuyo fondo se depositaron las calizas y dolomías con *Braquiópodos* del Muschelkalk, mientras que por el sur, separando la fractura de Sierra Morena, que formaría un abrupto acantilado, del Macizo Bético, existió un mar profundo, atestigüado por los sedimentos batiales de calizas y margas con *Cefalópodos* (*Ceratitoides*) y *Crinoideos*.

Al finalizar el Triásico, una nueva elevación del fondo marino y consiguiente regresión del mar, dió lugar en el borde oriental, a



la formación de lagunas costeras con aguas salobres, en las que se depositaron yesos y sales sódicas y potásicas, con margas y arcillas de coloración varia (margas irisadas del Keuper) con predominio del color rojo, señal del clima desértico o cálido-seco que seguía imperando en la península. Los fósiles son escasísimos, y únicamente encontramos algún resto de flora, moluscos de agua salobre y en algún caso, huellas de grandes anfibios *Estegocéfalos* que habitarían las orillas de las charcas, donde probablemente estaría limitada la vegetación.

Desde el Liásico se acentúa de nuevo el hundimiento progresivo del Macizo Hespérico por su borde oriental, dando lugar a una transgresión marina que llega a su máximo en el Cretácico medio (Cenomanense-Turonense) adentrándose las aguas hasta regiones que estaban emergidas desde final del Silúrico (fig. 13), formándose



Fig. 13.—Distribución de tierras y mares (rayado) durante el Mesozoico en la Península Hispánica. El punteado corresponde al área cubierta por la transgresión cenomanense.

se brazos de mar de escasa profundidad, cuyos sedimentos las más de las veces son de estuario y dan origen a yacimientos de lignitos, tratándose en todo caso de mares epicontinentales, neríticos, que depositan arenas, arcosas, etc., con *Equínidos*, *Moluscos*, *Coralaris*, y algún *Cefalópodo* benthónico (*Scaphites*, *Turrilites*, etcéte-

ra). Adquieren gran desarrollo en estos mares los bancos de *Rudistas* (*Radiolites*, *Hippurites*, *Thoucasia*, etc.), de los que hay múltiples ejemplos en la costa cantábrica, en los Pirineos y en el borde de la Cordillera Central. El resto de los mares que rodean al Macizo Hespérico, tanto jurásicos como cretácicos, son profundos, y sus sedimentos son margas y calizas de gran espesor, con abundantes *Cefalópodos* (*Ammonites*, *Belemnites*), *Moluscos*, *Esponjas*, *Crinoides*, etc., etc.

3.—EL CENOZOICO.—La Era Terciaria se inicia por una rápida regresión marina hacia oriente, sin que varíe el estado de cosas en el sur, donde no se ha interrumpido desde finales del Paleozoico, la sedimentación de materiales de fácies batial.

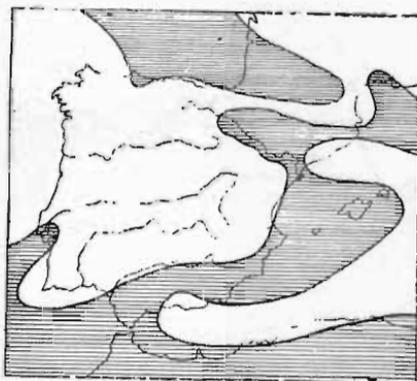


Fig. 14.—Distribución de tierras y mares durante el período Eoceno en la Península Hispánica. Rayada la zona cubierta por el mar.

Como consecuencia, emerge casi toda la Península hasta la falla del Guadalquivir que forma todavía su límite meridional, quedando por el nordeste tan sólo un brazo de mar que ocupaba la cuenca del Ebro, cuyos depósitos de calizas numulíticas de gran espesor y fácies nerítica atestiguan su escasa profundidad, extendiéndose al norte de los Pirineos otro mar análogo, dependiente del Cantábrico (fig. 14).

En el Oligoceno, estas cuencas se rellenan casi por completo

con enormes espesores de conglomerados, y continúa la regresión marina hacia oriente hasta más allá de las Baleares, mientras que la aproximación del macizo Bético-Rifeño y consiguiente elevación del fondo marino, hace de nuestra Península un verdadero istmo que unía los continentes Noratlántico y Africano. Apenas se encuentran sedimentos de fácies marina, pues realmente la Península tiene mucha mayor extensión que actualmente, y los depósitos de la cuenca del Ebro, son de fácies lagunar, con sedimentos salinos, escasos en fauna, y de coloración generalmente rojiza, indicio de un clima desértico y árido que volvió a imperar en la Península por algún tiempo (Fig. 15).



Fig. 15.—Distribución de tierras y mares (rayado) durante el Oligoceno, en la Península Hispánica. El puntado corresponde a zonas de lagunas salobres.

En el Neógeno, un leve hundimiento del suelo, ha dado lugar a que el mar avance por oriente hasta ocupar aproximadamente el mismo litoral actual, y a que se establezca una comunicación efímera entre el Mediterráneo y el Atlántico, a través del valle del Guadalquivir por un estrecho sembrado de escollos en que un mar epicontinental de escaso fondo deposita lumaquelas, arenas y margas, con profusión de *Ostreas*, *Equinidos*, *Foraminíferos*, etc.

En el resto de la Península han quedado amplias cuencas lacustres en el valle del Ebro y en las dos Castillas (fig. 16), que se van

colmatando poco a poco de sedimentos continentales lacustres y fluviales, en que abundan los *Gasterópodos* de agua dulce (*Planorbis*, *Limneas*, *Melanopsis*, etc.), los *Vertebrados* acuáticos (*Peces* de agua dulce, *Tortugas*, *Anfibios*, etc.) y los francamente terrestres (*Hipparion*, *Mastodon*, etc.).

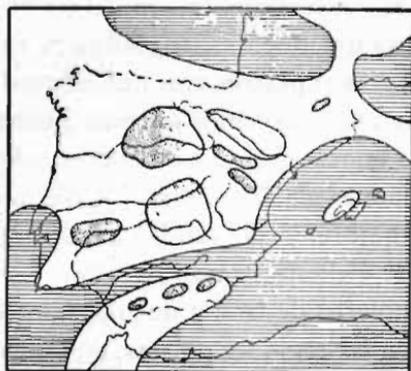


Fig. 16.—Distribución de tierras y mares (rayado) en el período Mioceno, en la Península Hispánica. La zona puntada corresponde a regiones de sedimentación lacustre o fluvial

Aunque nos faltan datos concretos, parece que debió coincidir con esta época la rotura del istmo que unía nuestra Península al continente Noratlántico, pues lo abrupto del litoral septentrional acusa su reciente formación. Simultáneamente desaparece la comunicación por el Estrecho Bético, retirándose cada vez más el mar hacia occidente en el valle del Guadalquivir y en la desembocadura de los ríos Sado y Tajo, cuyos depósitos acusan cada vez una fácies continental más marcada, y por último la rotura del arco de Gibraltar da a la Península el aspecto que ofrece en la actualidad.

4. EL CUATERNARIO. —Un fenómeno de gran interés paleobiológico tiene lugar al principio de esta Era, que aunque no altera para nada el contorno peninsular, sí influye profundamente en sus condiciones climáticas. Se trata de las invasiones glaciares

con sus correspondientes períodos interglaciares, que se acusan perfectamente en todas nuestras cordilleras, las cuales a favor de un clima extraordinariamente frío, estuvieron recubiertas por un casquete de hielo que ha dejado sus huellas en el modelado de sus valles y en los aluviones morrénicos que marcan el final de las lenguas glaciares.

El Glaciarismo es contemporáneo ya del hombre, y de su mano poseemos interesantes documentos sobre la fauna de aquellos tiempos, en las pinturas rupestres con que adornó las cuevas, persiguiendo fines mágicos. Poseemos además numerosos restos de los mamíferos de la época, que se han conservado las más de las veces entre los aluviones glaciares, o en los que rellenan las cavernas que habitó el hombre, y que fundamentalmente comprende: el *Mammuth*, especie de elefante lanudo de enormes defensas, un *Rinoceronte* también cubierto de lana y de gran tamaño, el *Reno* confinado actualmente en las regiones polares, un *Ciervo gigante*, de complicada cornamenta, y los animales propios de la tundra, asociación vegetal que debió predominar en casi toda la Península, como son el *Buey almizclero* y la *Liebre de las nieves*, junto con el *Bisonte* y el *Oso de las Cavernas*, de todos los cuales tenemos pruebas de haberse servido nuestros antepasados para su industria y su alimento

LA OROGRAFIA DE LA PENINSULA IBERICA

POR

E. CUETO Y RUI-DIAZ

INGENIERO DE MINAS

I

El esquema orográfico de Asia, trazado de acuerdo con los últimos trabajos publicados, demuestra que las numerosas cordilleras de aquel vasto Continente, en ciertas regiones, como el Tibet, se agrupan formando apretados haces y elevándose el fondo de algunos de sus valles a alturas de más de 4.000 metros; en otras toman direcciones divergentes, abriéndose entre ellas depresiones que descienden a considerable número de metros bajo el nivel del mar; algunos sistemas, como el Tianchan o Montañas Celestes, poseen largas alineaciones sensiblemente rectilíneas, pero, en su mayor número, las líneas directrices de las cordilleras ofrecen amplias y repetidas ondulaciones; finalmente, aunque la mayor parte de las ramas orográficas asiáticas se prolongan, casi sin interrupción, hacia levante, muchas de ellas rematan, hacia poniente, en las llanuras de Turán y la Siberia occidental, continuando solamente con este último rumbo el grupo más meridional de ellas.

Dicha diversidad de circunstancias podría mover a admitir que el plegamiento de Asia, por razón de la extremada variedad de condiciones mecánicas de su suelo, se había realizado de un modo completamente caprichoso, pero el examen atento del expresado

esquema, juntamente con el estudio estratigráfico de las varias cordilleras, pone de relieve algunos hechos generales que demuestran la constancia de dirección del esfuerzo plegante y la armonía de movimientos por esta causa producida, es decir, la unidad del proceso orogénico. El primero de aquellos hechos es el paralelismo aproximado de los haces de pliegues que dieron lugar a los principales grupos orográficos. Otro carácter, correlativo del anterior, o acaso subordinado a él, es el paralelismo de los pliegues de distinta edad que integran una misma cordillera, o, expresado en otros términos, que los pliegues de cada ciclo orogénico son «póstumos» con relación a los del anterior. Los pliegues sesgados—o pliegues «renegados», como los llama Stille—constituyen raras excepciones. Por fin, otro rasgo de carácter fisiográfico, que por su particular significación, debe destacarse, son los grandes arcos, con la convexidad vuelta hacia el sur, trazados por las líneas directrices de las cordilleras, de los cuales los principales son: en el oeste, el del Irán; en el centro, el del Himalaya; y en el este, el colosal arco que incluye las Cordilleras Birmanas, el archipiélago malayo y los del Japón y las Kuriles. Existen algunos arcos de sentido inverso, como los de Assam y el Pamir, de mucho más reducidas dimensiones que los antes citados, cada uno de los cuales es considerado como la «sintaxis» o conjunción de las amplias curvas que se desarrollan a uno y a otro lado de ellos.

La zona orográfica más meridional de Asia, de la que es parte integrante el Himalaya, se prolonga con dirección noroeste, a través del Irán y Anatolia, hasta enlazarse en la región ponto-caucásica con las montañas europeas; siendo el rasgo fisiográfico más característico de las de la Europa Central, los grandes arcos trazados por los Alpes y los Cárpatos, los cuales vuelven su convexidad, inversamente a lo que ocurre en Asia, hacia el norte.

No hay desacuerdos esenciales en las opiniones emitidas por los geólogos respecto a la posición y relaciones de las montañas de la región de Eurasia a que acabo de hacer referencia, si se exceptúan el Cáucaso, la cordillera de Verkhojansk (situada en la Siberia Oriental) y los Urales, todos los cuales plantean problemas de no fácil solución; pero las dificultades que estos ofrecen no pueden ser comparadas con las que surgen al intentar enlazar los

Alpes con la intrincada orografía de la Península Ibérica.

Los diagramas expresivos de las conexiones orográficas del Mediterráneo occidental, trazados por Suess, Termier, Stille, Argand y Staub, es decir, por los más notables orogenistas de los últimos años, ponen de manifiesto que, aunque respecto a la mitad oriental de aquellos, hay concordancia casi absoluta, en su mitad occidental, que es la que incluye las montañas españolas, se aprecian profundas diferencias.

La razón de esto radica, sin duda alguna, en el hecho de que, mientras en el resto de Eurasia, como antes he dicho, entre las principales cordilleras, como el Himalaya, el Tianchán, las Montañas Mongólicas, etc., existe aproximado paralelismo, en las montañas hispanas se observa, cuando se las examina rápidamente, una muy distinta disposición; puesto que, en tanto que la Cordillera Ibérica se orienta de noroeste a sureste, los Pirineos, con su pretendida prolongación por las Montañas Cántabro-astúricas, se extienden de levante a poniente, y la Cordillera Carpetana, los Montes de Toledo, Sierra Morena y la Cordillera Bética, se arrumban todas de nordeste a suroeste, cortándose, por lo tanto, algunas de las montañas citadas, bajo ángulos de cerca de 90° .

El arco que describen los pliegues y terrenos antiguos del noroeste de la Península Ibérica, al cual se ajustan con notable exactitud las montañas de la misma región, ha sido representado y descrito, con singular precisión, por Guillermo Schulz en su conocida obra *Descripción geológica de Asturias*, publicada en 1858. Otro célebre geólogo, el español Macpherson, en un trabajo titulado *Ensayo de Historia evolutiva de la Península Ibérica*, dado a luz en 1901, encareció la importancia tectónica de dicho arco, del que dió una explicación que mereció ser aceptada por la generalidad de los investigadores dedicados a la sazón a estos estudios, teniendo, además, el mérito de haber señalado otro arco, de análoga forma, que existe en la región carpetana. Las ideas de los dos autores citados son el fundamento de la concepción relativa a la estructura geológica de nuestra Península, expuesta por el sabio profesor austriaco Suess en su magistral obra titulada *Das Antlitz der Erde*.

Algunos geólogos modernos reconocen que, coincidiendo con los mencionados arcos, existieron en el paleozoico, es decir, en

época muy remota de la Historia de la Tierra, altas cordilleras plegadas, pero que éstas fueron después totalmente arrasadas, sin que su relieve fuera renovado con posterioridad, debiéndose las montañas actuales a movimientos orogénicos que no tuvieron relación alguna con los denominados caledonianos y hercinianos, o, lo que es lo mismo, que los plegamientos alpinos no fueron del mismo sentido ni estuvieron subordinados a los que originaron la estructura antigua.

Uno de los que con más calor defienden este punto de vista es el orogenista suizo Argand, quien en un trabajo titulado *La Tectonique de l'Asie*, supone que tanto el Continente Indo-africano como la Tierra de Angara, nombre este último dado por Suess a la primitiva Eurasia, estuvieron animados, desde su formación en los tiempos precámbricos, de movimientos de dirección opuesta, aproximándose, como consecuencia de esto, progresivamente uno a otro, hasta que, durante el terciario, se estableció entre ambos estrecho contacto. Pero el resultado de este duelo, como Argand le domina, no se redujo, como en la concepción clásica de Suess, a hacer surgir de los geosinclinales nuevas cordilleras, sino que produjo otros efectos, los cuales, por las masas que han sido puestas en movimiento y la energía absorbida, son de mucha mayor magnitud. El más importante de todos, y el que, en cierto sentido, domina a todos los demás, fué la deformación de las masas continentales ya existentes, mediante lo que el geólogo de quien hablo llama *plis de fond*, los cuales afectaron a zonas plegadas con anterioridad y «muertas» en concepto tectónico, esto es, a regiones incapaces por sí mismas de acentuar sus antiguos plegamientos, y, por lo tanto, renovar su perdido relieve, por lo que solo un poderoso esfuerzo tangencial pudo reanimarlas. Los pliegues profundos no son, según esta definición, el resultado de la reanudación de la actividad de la primitiva y ya enervada fuerza plegante, por lo que, aunque puedan ser paralelos a los antiguos, más bien son, en general, transversales a ellos.

El manto de terrenos sedimentarios que, en muchos territorios, se apoya sobre el basamento cristalino de los continentes, fué englobado también en los pliegues profundos, calificando Argand de *plis de couverture* a las deformaciones de este modo producidas.

Los pliegues profundos, según esto, no surgieron de los geosinclinales, sino que se formaron en zócalos rígidos anteriormente plegados, dando lugar, en condiciones favorables, a cordilleras de enormes relieves y a veces conteniendo grandes cobijaduras. Estos pliegues son, según Argand, no solo la reacción específica de los continentes frente al esfuerzo tangencial, sino también la principal manifestación del plegamiento en nuestro Planeta. Su importancia — durante el ciclo orogénico alpino — ha sido extraordinaria, pues a ella se debe no solo el haber sido colmado el geosinclinal de Tethys por cordilleras modernas, sino otras deformaciones mucho más importantes, es a saber: que toda el Asia, desde el Océano Indico al Océano Glacial Artico, se frunció profundamente, tanto los zócalos cristalinos como las capas de rocas sedimentarias sobrepuestas a ellos, lo que originó la denominada por Suess «culminación o divisoria antigua» y los sistemas del Tianchán y Kuenlung. El relieve de este modo formado no sufrió, con posterioridad, otras modificaciones — excluidas las originadas por causas exógenas — que las introducidas por readaptaciones de naturaleza isostática.

El oregonista Staub, de igual nacionalidad aunque de distinta lengua que el antes citado, y uno de los más profundos conocedores de los Alpes, visitó a España en 1926, con motivo del Congreso Internacional de Geología celebrado en Madrid en aquel año, y publicó, como resultado de sus estudios y observaciones, un extenso trabajo titulado *Gedanken zur Tektonik Spaniens*, en el cual aplica a nuestra Península, con todo rigor, la teoría de Argand que acaba de ser esbozada.

Para Staub el bloque antiguo de la Meseta Ibérica está constituido por elementos estructurales arcaicos, caledonianos y hercynianos imposibles de deslindar. Después de reducido aquel a una extensa penillanura, sobrevinieron los movimientos orogénicos alpinos, durante los cuales el empuje africano, que creó en el borde meridional de la antigua Europa los Alpides, uno de cuyos más importantes eslabones es la Cordillera Bética — que se levantó del geosinclinal que a la sazón ocupaba gran parte de Andalucía — dislocó también profundamente el antepaís rígido de éstos, originando en él cadenas de montañas jóvenes. Estos plegamientos del país fron-

tero pasan indistintamente a través de los macizos hercinianos, de las mesetas mesozoicas y de las cuencas terciarias. Pero mientras que en la Europa Central, fuera de los grupos incluidos en los Alpes propiamente dichos, no produjo este fenómeno de plegamiento montañas bien caracterizadas, en la Península Ibérica, que se hallaba más directamente expuesta a la presión ejercida por África, formó un grupo de cordilleras de gran longitud y elevación, a las que Staub llama los «Ibéricos». Estos están integrados por las siguientes cordilleras: 1.º, al norte las Montañas pirenaico-cántabroastures, orientadas de este a oeste, las cuales separan las altiplanicies españolas del Océano y del resto de Europa; 2.º, al sur de éstas se eleva una cordillera, de composición tectónica y petrográfica muy heterogénea, que atraviesa toda la Península en dirección suroeste-nordeste. La parte más próxima a las Montañas cántabroastures es la denominada por Staub montes «Hespéricos», los cuales se dividen en dos ramas, constituida la septentrional por las Sierras de la Demanda, Moncayo, Virgen, Vicor y San Yust, la cual, en su extremo sur, se inflexiona hacia el nordeste, para unirse a la Cordillera Costera catalana, y la meridional, formada por las Sierras de Sigüenza, Molina, Albarracín y Montes Universales, perdiéndose en el mar en Castellón de la Plana. Esta última rama se enlaza por su extremo norte con las Sierras cristalinas de Guadarrama y Gredos, y se prolonga después por las de Gata, Francia, Estrella, etc., hasta Lisboa. Al sur de la cuenca del Tajo, los fenómenos de plegamiento del antepaís se atenuaron considerablemente, pero aún dieron lugar a otras dos bóvedas de gran amplitud que son: 3.º, la zona de Alcázar de San Juan, Montes de Toledo, Sierra de Guadalupe, Cáceres, Portalegre, la cual alcanza el mar al oeste de Setubal; 4.º, Sierra Morena, entre Alcaráz y el Algarbe. Las cuatro cadenas que componen los Ibéricos, las cuales pasan a través de toda la estructura antigua de los Hispánides, disminuyen en altura de norte a sur, y sirven de límite a las tres principales depresiones de la meseta. Staub las cree «repercusiones» de los movimientos orogénicos alpinos.

Como antes he dicho, en toda la gran faja montañosa del Asia Central, se observa, salvo contadas excepciones explicables por bruscas dislocaciones locales, que los pliegues modernos se adap-

tan siempre a los antiguos, estando formada, por lo tanto, cada unidad orográfica por la adición de elementos estructurales pertenecientes a varios ciclos orogénicos, durante cada uno de los cuales las montañas, que en su mayor parte ya estaban convertidas en peniplanicies, experimentaron un nuevo resurgimiento. Si la teoría de Staub fuera cierta, la Península Ibérica constituiría una grave excepción a esta ley general.

II

Con el fin de dilucidar este importante punto, voy a analizar una de las proposiciones fundamentales de Staub: la que establece que las Montañas pirenaico-cántabro-astures se orientan de este a oeste, separando las altiplanicies españolas del Océano y del resto de Europa. Estando formados los Pirineos por un grupo de cordilleras de la expresada dirección, esto implicaría que en su prolongación occidental, es decir, en la región cántabro-astur, necesariamente habían de abundar los elementos orográficos de igual orientación; pero no solo no es esto lo que se observa, sino que, como procuraré poner de relieve, no es posible citar, en dicha región, una sola montaña importante cuyos pliegues se arrumben de aquel modo.

Comenzando por el tercio oriental de Asturias, donde las líneas de relieve se orientan de suerte que, a primera vista, pudieran ser tomadas por la prolongación de los Pirineos, si se considera atentamente la Cordillera de Cuera, la más elevada de las de la costa (1.490 m.), se advierte que su dirección es la este-nordeste, y que los pliegues—principalmente de rocas calizas—que la integran, en su prolongación hacia el oriente no se dirigen a los Pirineos, sino que se ocultan bajo las aguas del mar Cantábrico. Lo mismo se observa en las fajas de cuarcita siluriana, que asoman entre dicha montaña caliza y el mar, en las que la erosión ha tallado las curiosas formas topográficas denominadas en la localidad «sierras planas». Al sur de esta porción de Asturias se encumbra el áspero macizo nombrado «Picos o Peñas de Europa», con varias alturas de cerca de 2.700 m., cuyo eje se aproxima mucho a la dirección nordeste.

Recorriendo la costa de Asturias hacia poniente se encuentran fracturas y montañas que, a medida que se avanza, se desvían más de la orientación de los paralelos y se acercan a la de los meridianos. El Puerto o Serranía de Sueve, formado por una asociación de caliza carbonífera y cuarcita siluriana, constituyendo la prolongación de esta última roca la conocida Sierra del Fito, donde se encuentra el mirador del mismo nombre tiene ya indiscutible dirección nordeste-suroeste. Idéntica orientación se advierte en los cordales de la región costera liásica, mereciendo ser citado, por la claridad con que se destaca en los mapas, el Cordal de Peón, una parte del cual forma la margen izquierda de la ría de Villaviciosa.

En el oeste de Asturias, dominan los terrenos siluriano y cambriano, estando formadas las sierras principales por la cuarcita armoricana, entrando todas en el mar con rumbo nor-nordeste. Por fin, en la costa de Galicia, las montañas se arrumban de norte a sur.

Esta misma orientación es también la que tienen las principales cordilleras del centro de Asturias. Citaré, como ejemplo, las sierras de Peñamayor y del Aramo, que se levantan, la primera, al sureste, y la segunda (con cerca de 1.700 m. de altura), al suroeste de la ciudad de Oviedo, constituídas ambas, en su mayor parte, por caliza carbonífera. La cuenca hullera central de Asturias, que se halla comprendida entre las dos montañas nombradas, contiene numerosos cordales formados por rocas blandas, singularmente por pizarras y areniscas, lo que ha sido causa de que las fuerzas exógenas modelaran en ellas formas topográficas alomadas, de confusa dirección, las cuales contrastan con la aspereza y clara orientación de las montañas, mucho más elevadas, integradas por la dura roca que forma la base del sistema carbonífero.

En el occidente de Asturias surgen de trecho en trecho elementos orográficos, constituídos por cuarcita siluriana, también de dirección norte-sur, en las que no faltan crestas afiladas y agudos picachos. Algunos de ellos tienen considerable longitud, como el que, en su porción meridional, sirve de divisoria hidrográfica a los ríos Narcea y Navia, el cual se prolonga, desde el límite de los Concejos de Cangas de Narcea e Ibias hasta la costa, donde su último

eslabón, que es la Sierra del Rañadoiro, se desvía tomando el rumbo nor-nordeste.

Todas las montañas citadas adoptan, pasado el confin de la provincia, la dirección sureste o una próxima a ella, que es la que domina en toda la vertiente castellana del macizo orográfico cántabro-astur. Al hecho de ser la divisoria de provincias transversal a las principales líneas de relieve se debe la feliz circunstancia de que los puertos que comunican a Asturias con León tengan todos alturas de poco más de 1.300 metros.

Conclúyese de este rápido análisis que lejos de predominar en la quebrada región cántabro-astur las montañas de dirección este-oeste, es decir, de dirección pirenaica, aquélla está constituida por un apretado haz de cordilleras que se doblan formando un arco elíptico con la convexidad vuelta hacia el poniente. Los terrenos geológicos tienen idéntica forma arqueada, y se escalonan de modo que son tanto más modernos cuanto más al oriente se encuentran. Esta disposición demuestra el remoto origen del llamado «arco astur», el cual, no solo no fué arruinado por los movimientos orogénicos alpinos, como pretende Staub, sino que la altura de sus montañas, muy atenuada por las acciones erosivas a que, después de la orogenia herciniana, estuvieron sometidas, fué vigorosamente renovada por dichos movimientos, debiéndose al empuje de éstos, sin duda alguna, la extremada aspereza y relieve juvenil de los Picos de Europa y de otros macizos de Asturias, León y Santander.

Aunque, por lo que queda dicho, no existe conexión orográfica visible entre los Pirineos y la región cántabro-astur, no quiere esto decir que entre ambos sistemas de montañas no haya estrechas relaciones estructurales. Ya he hecho notar que los pliegues de la costa cantábrica se desvían progresivamente de la dirección norte-sur a medida que se aproximan el extremo oriental de Asturias, en donde toman el rumbo este-nordeste, lo que autoriza a admitir, como lo más verosímil, que un haz de pliegues, constituyendo lo que Suess llama una «virgación», siguió la dirección este-oeste, dando lugar la porción de él no desaparecida bajo las aguas del mar, a los Pirineos, los cuales, no obstante haber surgido por vez primera en época muy antigua, conservaron a través de casi

todo el tiempo geológico movilidad suficiente para levantarse repetidas veces, y para enriquecerse en cada fase orogénica con elementos tectónicos cada vez más modernos, lo que ha impreso a la elevada cordillera que separa a España de Francia (con varias alturas de más de 3.000 m.) el profundo sello de montaña moderna que hoy ostenta. La discutida posición de los Pirineos en el sistema alpino, así como su marcado aislamiento orográfico, quedan, a mi juicio, con lo dicho mejor esclarecidos que con las explicaciones hasta ahora propuestas.

III

La claridad con que se destaca en los Mapas geológicos el arco astur, no obstante la apartada época en que se inició su formación—acaso anterior, como supone Macpherson, a los tiempos cámbricos—induce a admitir que aquél no constituye una mera disposición local, sino un elemento esencial de la estructura de la Península Ibérica. Como confirmación de esto se observa, en primer lugar, que los pliegues de los terrenos que integran el suelo de Galicia, formado principalmente por rocas graníticas y arcaicas, dibujan curvas concéntricas con las de los pliegues de Asturias. La mayor parte de aquéllos están interrumpidos, al norte, por el Mar Cantábrico y al sur, por la cuenca terciaria de Castilla la Vieja; pero las ramas meridionales de las curvas más externas penetran en Portugal con dirección sureste, la que conservan hasta llegar cerca de los límites de la provincia de Salamanca, dando lugar, dentro de la Nación vecina, a sierras de moderado relieve, como las de Arge, Cural, Amaroya, Citanías, etc. Algunas de estas montañas se orientan, bajo el aspecto morfológico, de nordeste a suroeste, pero todas están constituídas por estratos que se arrumban de noroeste a sureste, lo que indica que ésta es su verdadera dirección tectónica y que la perpendicular a ella, que algunas tienen, es el resultado del trabajo de la erosión.

El enlace de las sierras del norte y centro de Portugal con las montañas de Castilla, plantea uno de los problemas más interesantes de la orogenia española, a saber: el de la prolongación hacia el oeste de la Cordillera Carpetana, o sea de la gran línea de relieve

que divide a la meseta en dos partes casi iguales. Macpherson, que hizo de este asunto un profundo estudio, dice que desde Peña Gudina, en la provincia de Salamanca, donde la mencionada cordillera entra en la depresión hispano-lusitana, la divisoria entre el Duero y el Tajo se dirige al suroeste, por las Sierras de Peña de Francia y Gata, siendo de notar—dice—«que mientras la línea de aguas vertientes de estas sierras corre de suroeste a nordeste, al modo como la depresión hispano-lusitana, sus estratos se hallan arrumbados de preferencia de noroeste a sureste, como todos los de la zona que corresponde a la antigua cordillera herciniana». Dicho geólogo añade después lo siguiente: «Desde la extremidad suroeste de la Sierra de Gata, tuerce la divisoria al Oeste por la Sierra de las Mesas, e incorporándose a las masas graníticas de Portugal, e inclinándose al norte, llega hasta las cercanías de Guarda. Desde aquí se une la divisoria a la Sierra de la Estrella; alcanza otra vez alturas de cerca de 2.000 metros, y sigue entonces por granito y cámbrico al suroeste, hasta que se incorpora a los terrenos secundarios al norte del estero del Tajo, paralelamente al cual sigue la divisoria y termina en el Cabo de Roca».

El criterio que parece aplicar este notable geólogo para fijar la prolongación de la Cordillera Central o Carpetana, es considerar como eje de ésta la divisoria hidrográfica del Duero y el Tajo. Esta divisoria coincide con la descrita por Macpherson hasta Guarda, pero la Sierra de la Estrella no forma parte de ella, puesto que esta montaña vierte aguas al Tajo y al Mondego, y este último río no desagua en el Duero, sino directamente en el Océano y tiene, por su dirección y otras circunstancias geográficas, más analogía con el Tajo que con el Duero. Choffat no cree a la Sierra de la Estrella, que es el más importante macizo de Portugal, continuación de las montañas de Castilla, por estar su independencia orográfica, con relación a éstas, claramente acusada en el Mapa hipsométrico de F. de Botella. La incluye, sin embargo, en el «Sistema Lusitano-Castellano», que es como él denomina a la Cordillera Central Española, por las débiles razones de proximidad y paralelismo. Para dicho autor la continuación en Portugal de la Sierra de Gata es la línea divisoria de aguas que pasa al sur de las cabeceras de los ríos Coa y Meimoa, línea bien definida en el mapa antes ci-

tado; pero tampoco es fundada esta opinión porque la línea de alturas de que habla Choffat no constituye una divisoria de aguas, pues el río Coa es afluente del Duero y el Meimoa se une al Zezere, el cual es tributario del Tajo; es decir, que aquella línea de cumbres vierte aguas por su flanco norte a dos cuencas hidrográficas distintas.

La verdadera divisoria hidrográfica entre el Duero y el Tajo tiene, en la región de que hablo, dirección noroeste, la cual conserva hasta más allá de Guarda, donde, con el mismo arrumbamiento, se torna en divisoria entre el Duero de un lado y el Vouga y el Mondego de otro. Las sierras que forman la expresada divisoria—Sao Cornelio, Leonil, Monte Mouro, etc.—con sus estratos dirigidos al Noroeste, son, en mi sentir, la continuación de las Sierras de Castilla. La constitución de dicha divisoria, efecto, acaso, de los últimos movimientos alpinos, hubo de influir poderosamente en la morfología del país, pues las aguas meteóricas, precipitándose por sus laderas, han debido labrar en ellas valles profundos, como el del Zezere. Esta dispersión fluvial modeló necesariamente sierras arrumbadas de suroeste a nordeste, modificando con ello profundamente la primitiva fisonomía orográfica. Esta, sin embargo, lejos de haber sido completamente borrada, se conserva patente en las montañas constituidas por materiales duros, como la cuarcita silúrica, la cual forma sierras—como las de Busaco, Argamil, Muradal, etc.—con clara orientación herciniana.

La configuración e hidrografía de la porción de Portugal situada al norte del Duero—llamada por los geólogos lusitanos «región galaico-durense»—es el resultado de un proceso análogo al que acaba de ser descrito, pero condicionado por la tectónica de las Montañas Cántabro-astúricas.

Aunque entre el Duero y el Tajo existen en Portugal, como queda dicho, montañas que, morfológicamente, están arrumbadas de nordeste a suroeste, estando todas ellas integradas por pliegues que corren de noroeste a sureste, esta última es su verdadera dirección tectónica. Un potente haz de los pliegues que las forman, al penetrar en la provincia de Salamanca, cambia de dirección, tomando primero la este-oeste y después la nordeste-suroeste y da lugar, envuelto en grandes extensiones por masas de

granito, a las Sierras de Gredos y Guadarrama—cuyas cimas principales sobrepasan los 2.500 metros de altura—en la segunda de las cuales se aprecia con toda claridad la participación que en ella han tenido las plegaduras hercinianas. A esta inflexión, que guarda notable paralelismo con el arco astur, le fué asignada por los autores distinta significación geológica que la que aquí se propugna.

Fischer no la admite, pues considera a la Cordillera Central, no como el efecto de un proceso de plegamiento, sino debido a grandes fallas que determinaron movimientos verticales relativos de grandes trozos del suelo de la meseta. Para Macpherson la curva de que hablo es una «dirección derivada» de los plegamientos hercinianos, los cuales, al aproximarse al macizo carpetano, originado por pliegues precámbricos arrumbados de suroeste a nordeste, cambian de dirección para ajustarse a la de estos últimos, los que, no obstante su antigüedad, se grabaron en el suelo de la región de un modo indeleble, e imprimieron su carácter a todas las dislocaciones posteriores. La opinión de Suess se aproxima mucho a la de Macpherson, puesto que interpreta la Cordillera Carpetana como una rama desviada hacia el este de la Cadena Herciniana. Hernández—Pacheco atribuye a las Sierras de Gredos y Guadarrama—a cuyo conjunto califica de accidente tectónico transversal a la Cadena Herciniana—a fenómenos de descompresión posteriores al ciclo orogénico herciniano, los cuales produjeron fracturas que determinaron importantes movimientos radiales. Finalmente, Patac explica la particular posición de la Cordillera Central suponiéndola «una especie de esquirra desprendida del cuerpo principal de la cadena caledoniana y que ha sufrido un movimiento de rotación de unos 40° sexagesimales de sureste a nordeste.

Con arreglo a mi modo de apreciar los hechos, el arco que traza al penetrar en España algunos de los pliegues precámbricos y paleozoicos que recorren en sentido diagonal la mitad norte de Portugal, no es otra cosa que un fenómeno correlativo del arco astur. Ya he indicado cómo concibe Macpherson la formación del arco carpetano. Algunos geólogos modernos, entre ellos Leuchs—autor de un importante trabajo, aun no terminado, sobre la geología de Asia—dan de la formación de los arcos orográficos de es-

te continente una explicación análoga, pues suponen que son debidos a desviaciones de pliegues producidos por masas antiguas ya consolidadas. El curso ondulante de las cordilleras asiáticas demuestra, sin embargo, que los arcos no pueden ser atribuídos a circunstancias locales, sino a una causa de carácter general. Es mi opinión, coincidiendo en esto con Macpherson, que los pliegues precámbricos, no obstante su antigüedad, imprimieron dirección a todos los demás, pero dando al concepto mayor amplitud, es decir, admitiendo que las orogenias primitivas determinaron la formación de arcos a los que se adaptaron las deformaciones posteriores, por ser todas producto de un mismo esfuerzo plegante que actuó con intensidad variable, pero siempre en la misma dirección. Esta es la razón de la disposición concéntrica de las curvas que describen los pliegues del noroeste de la Península y el escalonamiento de los terrenos geológicos de que antes he hecho mención.

IV

Veamos ahora lo que ocurre en la meseta meridional española. Las bandas irregulares de terrenos graníticos, arcaicos y paleozoicos corren en ésta de noroeste a sureste, quedando bruscamente cortadas, la mayor parte de ellas, por el valle del Guadalquivir. Se nota, sin embargo, que en el extremo meridional tienden algunas a orientarse hacia el este y otras hacia el nordeste, como, por ejemplo, la faja de silúrico desprendida de la gran mancha de igual terreno que cubre parte de las provincias de Toledo, Ciudad Real y Albacete, que termina cerca de Alcazar de San Juan; el diminuto asomo de la misma formación que hay al norte de la población nombrada y que forma un grupo orientado al nordeste; y, por fin, la larga manga de rocas silúricas que, paralela a la Sierra de Alcaraz, penetra en el triás de la provincia de Albacete. Igual inclinación se observa en el terreno carbonífero de Huelva.

Un grupo de dichas fajas, en el que la expresada tendencia se muestra con mayor claridad, dá lugar al accidente orográfico conocido con el nombre de Montes Oretanos o de Toledo, grupo de montañas alomadas cuya elevación pasa pocas veces de los 1.000 metros—Sierra de Yébenes, Montes de Toledo, Sierra de

Guadalupe, etc.—la mayor parte de las cuales se dirigen de este a oeste. Algunas de las situadas más a poniente—Sierras Deleitosa y de Zapata—se desvían hacia el noroeste, como las fajas de terrenos en que se levantan. Estos, después de cruzar el Tajo, ya dentro de Portugal, dan origen a varias sierras, las que, a mi juicio, deben ser consideradas como la continuación hacia poniente de los Montes de Toledo. En la unidad tectónica a que pertenecen éstos, deben, por lo tanto, ser incluídas las Sierras de Peña García, Estrella y otras. La prolongación hacia el este de los Montes de Toledo se muestra mucho más oscura. En algunas de las montañas de esta parte de la cordillera—Sierra de Yébenes, por ejemplo—se advierte un cambio de dirección en el sentido de arrumbarse paralelamente a la Cordillera Carpetana. La misma dirección tienen los pliegues del terciario del oeste de la Sierra de Altomira, lo cual, juntamente con la curva que describe el Tajo en la última parte de su curso, parece indicar que los Montes de Toledo, en su prolongación oriental, forman una alineación, desprovista de relieves orográficos caracterizados, paralela a la Cordillera Central divisoria, siendo, por lo tanto, aquéllos el resultado de un proceso orogénico semejante al que formó ésta última.

De este modo concibo el conjunto de sierras que forman la divisoria entre el Tajo y el tortuoso Guadiana, sistema que, en el sentir de Macpherson, constituya uno de los enigmas de más difícil solución de la orografía y tectónica españolas, no atreviéndose dicho geólogo a resolver la cuestión de si los Montes de Toledo son una derivación en pequeño semejante a la Cordillera Carpetana, o si han estado en otro tiempo en conexión lateral con ésta, siendo el valle del Tajo una bóveda hundida y rellenada después por los sedimentos terciarios. Fischer supone a los Montes de Toledo obra exclusiva de la erosión, y Hernández-Pacheco los explica por un proceso análogo al que, a su juicio, dió origen al Sistema Carpetano.

Las hiladas de terrenos arcaicos y paleozoicos que se desarrollan al suroeste de la que acabo de reseñar originan alineaciones de sierras orientadas de noroeste a sureste, las cuales en su mayor número, terminan en la línea tectónica del Guadalquivir. Los segmentos más meridionales de todas estas cadenas, es a saber: las

Sierras de Cambrón, Madrona, Almadén, Alcudia, Córdoba, Tentudía, etc., cuyas alturas oscilan entre 580 y 1.160 metros, han sido agrupadas por los geógrafos bajo la denominación de Cordillera Mariánica o Sierra Morena. Pertenecen aquéllos segmentos, como queda dicho, a paquetes autónomos de pliegues antiguos, que, en general, se orientan transversalmente al eje del conjunto orográfico formado por las sierras nombradas. No siendo dicho eje, por esta circunstancia, una verdadera línea directriz, los pequeños macizos que enlaza no constituyen una unidad tectónica. Tampoco integran una cordillera en el sentido morfológico del término, porque, existiendo entre ellos cierta independencia orográfica, su agrupación carece del grado de continuidad que debe tener toda cadena de montañas. La denominación citada no es, por esta razón, adecuada, siendo mucho más propio el nombre de «Montañas del borde meridional de la Meseta» con que las designa Fischer.

V

Al acercarse al valle del Guadalquivir, los terrenos antiguos de la meseta se interrumpen bruscamente, extendiéndose al sur de aquel río una región que ofrece vivo contraste con las áridas altiplanicies de Castilla la Nueva y Extremadura; pues no solo está constituída, en su mayor parte, por formaciones secundarias y terciarias, que originaron suelos de extremada fertilidad, sino que sus características tectónicas son antagónicas, aparentemente al menos, de las de la Meseta, estando en ésta los pliegues orientados de Noroeste a Sureste, mientras que en la región bética las dislocaciones se arrumban de este-nordeste a oeste-suroeste. La interpretación de Suess acentúa aun más el mencionado contraste, convirtiéndole en un verdadero enigma, pues a juicio de dicho famoso geólogo, los pliegues alpinos de la región bética forman un arco que, en cierto modo, es la reproducción del que describen en Asturias los pliegues hercinianos; pero ofreciendo la extraña particularidad de oponer su rama septentrional, integrada por pliegues empujados hacia el noroeste, no a la rama homóloga del arco astur, sino a su porción meridional, caracterizada por pliegues

tendidos hacia el suroeste. La mayor parte de los geólogos, singularmente los españoles, explican este hecho extraordinario por la existencia, al norte del Guadalquivir, de una gran línea tectónica, consistente en una falla—o sistema de fallas—que limita por el sur el pilar herciniano ibérico.

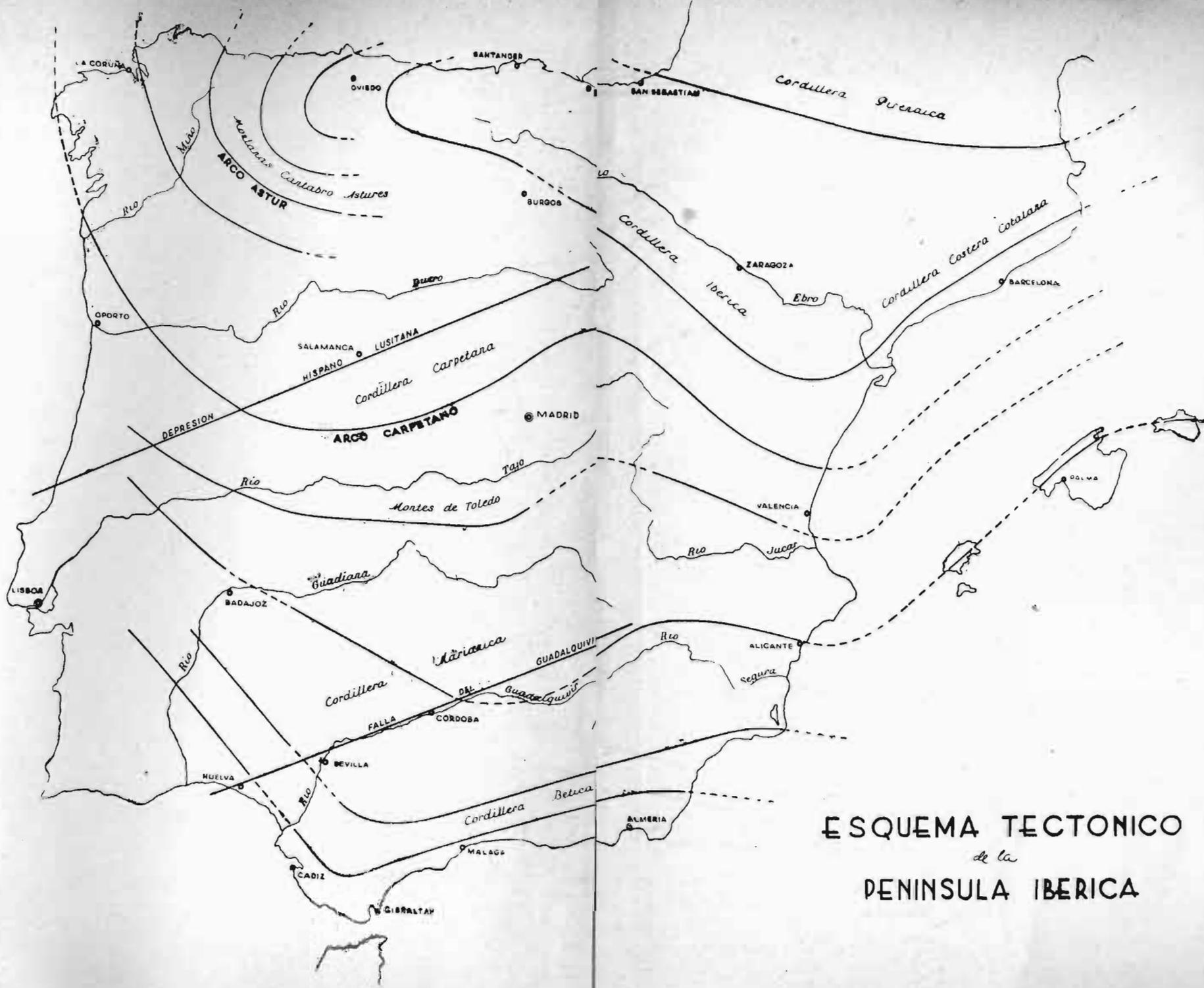
El primero que emitió esta opinión—aceptada después por Suess—ha sido Macpherson, quien atribuye a movimientos muy antiguos del suelo hispano la iniciación del sistema de fallas de que se habla. Pero debe advertirse que como las dislocaciones de la Cordillera Bética, producidas en gran parte durante el ciclo orogénico alpino, se arrumban también, como la expresada falla y los pliegues precámbricos de la misma cordillera, de suroeste a nordeste, habría que concluir que, en la región andaluza, las fuerzas tectónicas actuaron desde remota época con dirección sureste-noroeste.

Como, por otra parte, los pliegues hercinianos de la meseta forman con los de la comarca andaluza un ángulo de cerca de 90° , parece como si en la proximidad del río Guadalquivir existiera una dislocación que dividió a la Península en dos fragmentos que han estado regidos, desde fecha muy antigua, por leyes geológicas antitéticas. Esta contradicción desaparece si se admite que los pliegues antiguos de la meseta, al acercarse al valle del Guadalquivir, se doblan tomando primero la dirección este-oeste y después la nordeste-suroeste, esto es, describiendo un arco análogo al que otras fajas de terreno de igual edad geológica trazan en el centro de la Península para dar origen a las Sierras de Gredos y Guadarrama, y también semejante al que, más al norte, forma el paleozoico de Asturias y León. Este doblez, que se fué acentuando progresivamente en el curso de la Historia de la Tierra, sería la causa del sistema de fracturas conocido con el nombre de falla del Guadalquivir. La rama meridional del mismo estrujada repetidas veces por las orogenias modernas, se transformó a lo largo del tiempo en la Cordillera Bética, donde se encuentra el pico de Mulhacen, cumbre cimera de España, pues su altura sobrepasa los 3.400 metros.

No todos los pliegues antiguos de la altiplanicie de Extremadura se dirigen al valle de Guadalquivir con dirección sureste, pues,

como ya hice notar, uno de los más orientales, al acercarse a aquel valle, cambia de dirección, tomando primero la este-oeste, en la parte correspondiente a Sierra Madrona, y después la nordeste-suroeste, que es la propia de la Sierra de Alcudia. En esta parte, por lo tanto, la falla del Guadalquivir, si se prolonga hasta allí, no corta bajo un ángulo de 90° a las hiladas paleozoicas, sino que se torna en una verdadera fractura longitudinal que separa los plegamientos hercicianos de la meseta de sus paralelos alpinos de las Montañas Béticas. Un doblez análogo existe en las fajas paleozoicas y agnostozoicas de la provincia de Huelva, donde la Sierra de Aracena está arrumbada casi de levante a poniente.

Inmediatamente al sur del Guadalquivir, no asoman los terrenos estrato-cristalinos y paleozoicos de la Meseta, por lo que las conexiones de éstos con los de igual edad de Sierra Nevada y otras montañas andaluzas no pueden ser directamente observadas. Pero se puede llegar al conocimiento de las relaciones que hay entre unos y otros por la marcha que siguen, en las provincias occidentales de Andalucía, los pliegues de las formaciones mesozoicas y terciarias, por encontrarse éstos, en general, en la Península Ibérica, adaptados a las dislocaciones caledonianas y hercinianas. El Mapa tectónico de la provincia de Cádiz, trazado por Gavala, es muy instructivo en lo que a esto respecta. Se vé en él claramente que al suroeste del término del macizo antiguo bético existe un conjunto de montañas, comprendidas bajo la denominación genérica de Sierras del Campo de Gibraltar, que están formadas, principalmente en la proximidad de aquel macizo, por estratos de arenisca pliocena arrumbados casi de norte a sur; pero a partir de la línea que une a San Roque con Alcalá de los Gazules «cambia radicalmente—dice aquel geólogo—la dirección de los estratos de la arenisca del Algibe, y con ella la orientación de las cumbres de los montes, quedando alineadas las cadenas de noroeste a sureste». Este hecho pone de relieve que los pliegues alpinos de la región bética, lejos de doblarse hacia el sur, como admitía Suess, se inflexionan en sentido inverso, tomando en la provincia de Cádiz la dirección noroeste, o sea el rumbo de las dislocaciones hercinianas de la meseta. Como en toda Eurasia se observa que los pliegues de un ciclo orogénico son póstumos con relación a los del



ESQUEMA TECTONICO
 de la
 PENINSULA IBERICA

ciclo precedente, es lógico inferir de lo dicho que el *substratum* paleozoico de Andalucía se inflexiona del modo indicado por los pliegues alpinos de la misma región.

Con esta interpretación desaparece el antagonismo de las características tectónicas de la meseta y de la región bética, porque con arreglo a ella, el conjunto de las Sierras antiguas de Andalucía—Sierra Nevada, Sierra de los Filabres, Serranía de Ronda, etcétera,—pertenecen a paquetes de pliegues que en Portugal y Extremadura corren de noroeste a sureste, pero que, al acercarse al Guadalquivir, se doblan primero hacia el este y después hacia el nordeste, arrumbándose su extremo, que es el que dió origen a las Sierras nombradas, paralelamente a la Cordillera Carpetana. Esta fuerte combadura ocasionó un sistema de fracturas coincidentes con el actual curso del Guadalquivir, merced al cual, verosímilmente al final del paleozoico, la región bética quedó desgajada de la meseta castellana, pero sin perder por completo su solidaridad tectónica con ella.

VI

Las unidades orográficas hasta ahora reseñadas ofrecen no solo claras analogías de orden estratigráfico sino también cierto aproximado paralelismo. En cuanto a la Cordillera Ibérica, a la que me voy a referir ahora, no obstante poseer una dirección sesgada con relación a las ya enumeradas, tiene, con algunas de éstas, íntimas relaciones genéticas, como voy a procurar poner de relieve.

Las montañas de la vertiente castellana del macizo cántabro-astur, se orientan, como ya se ha indicado, hacia el sureste, observándose en las fajas de caliza carbonífera, que son las que forman el mayor número de aquéllas, cierta tendencia a converger hacia el norte de la provincia de Palencia, en las inmediaciones de Cervera de Pisuerga. La Sierra del Brezo, importante elemento orográfico de aquella región, termina bruscamente cerca de la población antes citada; pero en su prolongación aparecen inmediatamente una serie no interrumpida de sierras y páramos de caliza cretácea que se prolonga, siempre con dirección sureste, hasta la Sierra de la Demanda, la cual sobresale entre las provincias de

Burgos y Logroño. Siendo esta sierra uno de los principales grupos del Sistema Ibérico, no puede haber dudas respecto a que éste está ligado, orográfica y tectónicamente, con las Montañas Cantabro-astures, por un grupo de pliegues que, con muy atenuado relieve entre Cervera de Pisuerga y Pancorbo, donde el paleozoico no es visible y el cretáceo forma páramos de 1.000 a 1.400 metros de elevación, recobra después su perdida importancia, manifestada en el macizo antes nombrado—constituído casi en su totalidad por pizarras silúricas sobre las que descansa un potente banco de pudinga hullera—macizo que alcanza alturas superiores a 2.000 metros.

El terreno paleozoico de la Sierra de la Demanda se oculta, por su extremo sur, bajo una extensa mancha de formaciones secundarias cuyo contorno meridional pasa próximo a Soria y Cervera de Río Alhama; mancha caracterizada, bajo el aspecto orográfico, por incluirse en ella el macizo de Urbión, que es otro de los más elevados del sistema.

Al sureste de la mancha citada reaparecen los terrenos paleozoicos, formando dos fajas—entre las que se abre la cuenca terciaria de Calatayud—dirigidas de noroeste a sureste, la más oriental de las cuales se extiende desde cerca de Agreda hasta Montalban. Paralelamente a ésta corren fajas triásicas y jurásicas de menor longitud, descollando en el extremo norte de una de ellas el Moncayo, con 2.200 metros de altura, que es el somo culminante de la cordillera que separa la meseta castellana del valle del Ebro. Dichas bandas de rocas paleozoicas,—principalmente silúricas—debidas indudablemente a haces de pliegues hercinianos de igual dirección, dan lugar a importantes grupos orográficos, siendo los principales las Sierras de Tablada, de la Virgen, de Vicor y de Algairén. Los afloramientos paleozoicos desaparecen bajo el terreno cretácico del sur de Montalban.

Las sierras silúricas forman el núcleo antiguo del Sistema Ibérico, no siendo otra cosa que retazos,—renovados en su relieve por los movimientos orogénicos alpinos—de una rama de la cordillera herciniana, la cual, acaso estuvo enlazada con las Montañas Cantabro-astures de igual época geológica. Indaguemos ahora cuál

es la continuación hacia el sureste del mencionado núcleo antiguo.

Como ya se ha expresado, los terrenos paleozoicos desaparecen bajo la mancha cretácea que cubre una parte considerable de las provincias de Teruel y Castellón de la Plana. No ocurre lo propio con el triás y el liás que los acompañan en toda su longitud, los cuales, en forma de manchas irregulares, asoman a lo largo de la orilla norte de dicha mancha cretácea. Agrupados los girones de triásico y liásico forman una curva con la concavidad vuelta hacia el norte. Sobre este pliegue en arco, que verosíblemente corresponde al que hizo asomar la banda de silúrico situada más a levante de las dos de que se ha hablado, se hallan algunas elevadas cumbres, como las nombradas Encanadé, Puertos de Beceite y Espina. El arco que trazan los terrenos mesozoicos de esta región, le considero un efecto del que, en profundidad, describe el núcleo paleozoico de la cadena, el cual reaparece al otro lado del Ebro, esto es, en el punto en que se inicia la Cordillera costera de Cataluña, la que, según esta interpretación, es la prolongación del Sistema Ibérico, el cual, en la sección comprendida entre Agreda y Montalban, muestra una asociación de terrenos análoga a la que se observa en dicha cordillera. Esta se prolonga paralelamente a la costa hasta la cuenca terciaria de Olot, donde, desviándose ligeramente hacia el este, se pierde bajo el mar Mediterráneo. Staub admite la expresada conexión, pero suponiéndola resultado de un plegamiento del antepaís alpino transversal a las dislocaciones hercinianas, lo cual está en completo desacuerdo con los hechos observados.

La alineación meridional de la Cordillera Ibérica, que antes ha sido citada, no se liga directamente con las Montañas Cántabro-astures, sino con la Cordillera Carpetana. Los estratos arcaicos que entran en la composición petrográfica de ésta, desaparecen en el extremo nordeste del Guadarrama, bajo las rocas silúricas de la Sierra de Ayllón, las que a su vez se ocultan bajo los estratos cretáceos de Sierra Pela, pasada la cual se encuentran sedimentos más antiguos—singularmente triásicos—que dan lugar a Sierra Ministra y los Altos de Barahona. En esta región, en la que se inicia la divisoria del Tajo y Duero, se observa que los pliegues pasan, descri-

biendo un arco cuya convexidad mira al norte, de la dirección propia de la Cordillera Central al rumbo sureste que caracteriza el Sistema Ibérico, estando ya orientadas conforme a éste último las dos montañas que acaban de ser nombradas. El triásico, que en bancos muy poco inclinados da lugar a Sierra Ministra y los Altos de Barohona, se extiende al sureste, casi sin solución de continuidad, formando una faja de perímetro muy irregular que tiene su remate a poniente de Teruel, circundando dicha formación, juntamente con el jurásico, algunos angostos asomos de silúrico arrumbados también al sureste. En esta faja de terrenos primarios y mesozoicos se encuentran las Parameras de Molina, la Sierra de Albaracín y la extensa Serranía de Cuenca, formando una línea de relieve, ya en el borde de la meseta, considerada por Dantín Cereceda, por su proximidad y su paralelismo con la Cordillera Ibérica, como perteniente a ésta. Dicha alineación, trazando una curva concéntrica con la antes descrita, parece internarse en el Mar Mediterráneo cerca de Castellón de la Plana.

VII

Conclúyese del precedente análisis, que la Península Ibérica está caracterizada, en concepto tectónico, por un apretado haz de pliegues doblados de modo que forman un poderoso arco con la convexidad vuelta hacia el sur, es decir, un arco de tipo asiático, al que se ajustan las principales cordilleras. A esta singular estructura se debe la anchurosa configuración de España, tan distinta de las formas angostas y alargadas en el sentido de los meridianos de todas las demás penínsulas eurasiáticas: Kamtchatca, Corea, Malaca, Italia y la Península Escandinava; circunstancia que ya ha sido apreciada, como es bien sabido, por los geógrafos de la antigüedad clásica, uno de los cuales comparó a nuestra Península con la piel de un toro. Ella es también la causa de la considerable altura media de España, solo superada en Europa por la de Suiza. Por fin, el clima semiárido de la meseta es consecuencia de las montañas que por todas partes la circundan, y sobre las cuales se condensa la mayor parte de la humedad transportada por las nubes que proceden de los mares vecinos.

El arco orográfico ibérico se enlaza por el este con los Alpes europeos. En el noroeste ya he dicho que los pliegues de Galicia y del Occidente de Asturias, entran en el mar Cantábrico con dirección norte. Por lo tanto, al hilo o rumbo de dichos pliegues se encuentran las montañas caledohercinianas de Irlanda, Escocia y Escandinavia, las que necesariamente deben ser consideradas como la prolongación de las montañas españolas de igual edad.

Con arreglo a esta concepción el haz de cordilleras eurasiáticas describe un ingente arco que se inicia en la Siberia oriental y termina en la Península Escandinava. Los diversos segmentos del arco vuelven su convexidad hacia el Océano más próximo: en el Asia Oriental, hacia el Pacífico; en el Asia Central, hacia el Indico; en Europa hacia el Atlántico. Las sierras españolas pertenecen a la más meridional y externa de las zonas montañosas, la que forma como el marco dentro del cual están encerradas todas las demás.

OCULTACION DE LOS IONES ⁽¹⁾

POR

SIRO ARRIBAS JIMENO

Profesor de la Facultad de Ciencias

Antes de iniciar el desarrollo del tema objeto de esta conferencia, deseo hacer constar claramente, para evitar posibles decepciones, que no van a oír una exposición erudita de un trabajo científico fruto de investigación personal, ni siquiera una disertación, mejor o peor hilvanada, sobre un asunto de actualidad, apasionante y sugestivo, muy en boga en conferencias de esta índole. Se trata más bien de una lección; y de una lección un tanto desordenada, que no se adapta a los límites normativos de un programa, pero sencilla y clara, dedicada especialmente a quienes inician sus actividades y afanes en los atrayentes problemas del análisis químico inorgánico cualitativo.

Mucho se ha escrito sobre los progresos realizados por la síntesis y los alcanzados por el análisis; y casi siempre se ha puesto de manifiesto que mientras la primera en el camino de la perfec-

(1) Conferencia dada en la Universidad de Oviedo durante el cursillo de invierno 1945-46.

ción y del desarrollo ha adquirido una importancia y un relieve que están fuera de toda duda, el análisis se ha quedado muy atrás en ese camino; ha caído en una especie de marasmo del cual no son capaces de sacarle el acúmulo de una abundante investigación analítica traducida en una copiosa bibliografía, ni la incorporación al análisis de métodos nuevos, basados en principios físico-químicos, tales como los espectroscópicos o polarográficos, métodos que por ahora han quedado restringidos a resolver casos particulares. Ya en el campo de la ironía, se ha llegado a decir, con evidente ligereza, que el que se dedica a la síntesis y al analista se encuentran aproximadamente en la misma relación en que están el escultor o el arquitecto y el picapedrero. Claro está, que no debe ni puede degradarse el análisis hasta ese punto; a fin de cuentas es el modesto picapedrero el que selecciona y ofrece sus materiales para que el arquitecto construya los edificios y el que, al final de la obra, dicta el visto bueno que será el certificado definitivo que acredite la bondad del trabajo.

Quizás al analista novel, o al poco práctico, le parezca excesiva la laboriosidad de los métodos analíticos, grande la molestia de algunos reactivos, mucha la inseguridad de ciertas conclusiones. Es cierto que el gran número de operaciones premiosas que tiene que ejecutar el analista en sus separaciones,—muchas de ellas ya preconizadas por Bunsen o Fresenius hace casi un siglo—le obligan a un trabajo agobiante para llegar algunas veces a resultados que ni satisfacen al operador ni están en consonancia con la labor efectuada.

Pero ello no quita importancia a la labor analítica. La investigación sigue su paso firme hacia horizontes más despejados. Muchos autores se han preocupado de renovar los métodos de análisis en sus dos aspectos: teórico y práctico. Ostwald en su libro «Los principios científicos de la Química Analítica», dió la pauta para que en otras publicaciones se clamase por una urgente evolución en los procedimientos didácticos clásicos del análisis que libere a esta asignatura de su servidumbre como auxiliar de la Quí-

mica general y la de suficiente carácter científico para convertirla en disciplina auténticamente independiente; que de ciencia puramente descriptiva y memorista en su parte teórica y excesivamente rutinaria en su parte práctica, se transforme en ciencia racional, clara y lógica, que concilie en armónico conjunto teoría y práctica como premisa fundamental para que el análisis químico adquiera la categoría que su importancia científica, pedagógica e incluso social es merecedor.

En la parte práctica, el ideal de todo buen analista es la resolución de sus problemas mediante procesos económicos y exactos. Economía en el tiempo, en el material y en el trabajo; exactitud en las determinaciones; seguridad plena en los resultados. Bastante se ha conseguido en la primera parte: las separaciones capilares y cromatográficas, los ensayos a la gota o al toque, los procesos microquímicos, favorecen extraordinariamente la economía; pero desgraciadamente la exactitud, en la mayoría de los casos, no va de acuerdo con ellos y por eso no se han impuesto definitivamente.

La meta del análisis químico cualitativo se encuentra, sin duda alguna, en un método que, evitando separaciones, utilice reacciones específicas y de sensibilidad adecuada al medio y características de la substancia, para todos los iones que pueda contener el problema. Claro es que las reacciones verdaderamente específicas son escasas y que muchas de ellas pecan de poco sensibles; de aquí las dificultades con que se tropieza para la consecución del método. Sin embargo, un conocimiento profundo de las propiedades de los iones, de las leyes por las que rigen las reacciones y de las circunstancias en que éstas tienen lugar, nos pueden sugerir recursos muy eficaces para tornar en específica una reacción que no lo es, o para variar la sensibilidad de las reacciones de manera conveniente.

Precisamente en estos cimientos teóricos se basan esos métodos, aún imperfectos, en los que se pretende haber encontrado nuevos procedimientos de análisis cualitativo sin separaciones en grupos analíticos. Y como la investigación analítica se dirige, en

gran parte, por ese camino, me ha parecido conveniente traer aquí, a modo de ensayo, dos lecciones dedicadas a esta interesante materia. La primera la título «Ocultación de los iones» y se refiere principalmente a la descripción y estudio de algunos fenómenos sencillos que influyen en la manera de hacer específicas reacciones que no lo son. En la segunda, bajo el título de «Reacciones analíticas inducidas», indico algunos procesos químicos que ejercen acción importante en la sensibilidad de las reacciones.

OCULTACION DE LOS IONES.—La mejor manera de eliminar la acción perturbadora de uno o de varios iones, es su separación como precipitado insoluble. Es el proceso de los métodos clásicos de análisis: precipitación en grupos mediante reactivos generales de selección para que la presencia de unos iones no moleste las reacciones de identificación de los siguientes. Pero esto es lento y no está de acuerdo con la premisa de economía establecida anteriormente. Existen otros recursos más sencillos y rápidos que muchas veces se pueden aprovechar con eficacia. Como las reacciones químicas son función de la concentración molar o iónica de las sustancias reaccionantes, la manera más sencilla de impedir que una reacción tenga lugar es rebajar esas concentraciones hasta el punto de que no se rebase la constante del producto de solubilidad si se trata de reacciones de precipitación, o que no se alcance el límite de perceptibilidad si se trata de reacciones de otro tipo.

Algunos autores llaman «enmascaramiento de los iones» al conjunto de procedimientos sencillos mediante los cuales se consiguen eliminar las interferencias molestas de los iones perturbadores; otros utilizan el sustantivo simulación o disimulación para designar el fenómeno, y a veces se emplea, con evidente deterioro del castellano, la palabra «complejamiento», como queriendo indicar que el proceso más interesante para inhibir la acción de un ión es aquél en el que se le incorpora a una combinación compleja. Como creo que es más oportuna, expresiva y castellana que las

anteriores la palabra «ocultación», la propongo y utilizo desde ahora.

Un ión puede ocultarse por cualquier procedimiento que disminuya su concentración hasta tal grado que su masa activa deje de influir en el equilibrio que nos interesa. La ocultación puede conseguirse: 1.º Por incorporación del ión molesto a una combinación poco disociada. 2.º Por formación de complejos. 3.º Efectuando un cambio de valencia adecuado. 4.º Por adición al líquido reaccionante de algún electrolito que por efecto del ión común rebaje hasta el límite que nos interese la concentración del ión perturbador.

Citaré algunos sencillos ejemplos del primer caso y estudiaré con más amplitud el segundo por ser el más general e importante.

1.º *Ocultación por formación de combinaciones poco disociadas.*—Feigl (1) ha propuesto un excelente reactivo para la plata; se conoce en el comercio con el nombre del autor y corresponde a la especie química p-dimetilamino-benciliden-rodamina. La solución acetónica o clorofórmica del reactivo produce con el catión argéntico un precipitado rojo rosado de tal sensibilidad que permite descubrir hasta 0,02 γ de Ag⁺ (2) en una gota, lo que corresponde a una dilución límite de 1/2.500.000. Se aplica la reacción para investigar indicios de plata en plomo y mediante ella es posible reconocer los escasos iones argénticos que restan al precipitar con el anión Cl⁻.

La ditizona o difeniltiocarbazona es uno de los mejores reactivos del plomo. El reactivo se prepara disolviendo 1 o 2 mlgs. de ditizona en 100 cc. de tetracloruro de carbono. El color verde del reactivo vira al rojo ladrillo del complejo interno correspondiente aun en presencia de trazas de plomo. En solución neutra el límite de perceptibilidad de la reacción es de 0,04 γ de Pb⁺⁺ en una gota, correspondiente a una concentración límite de 1/1.250.000.

(1) F. Feigl.—Qualitative Analyse mit Hilfe von Tüpfelreaktionen.—Leipzig, 1935, pág. 144.

(2) Una γ equivale a la milésima de miligramo.

Las dos reacciones descritas son magníficas por su sensibilidad y por que son aplicables en ensayos a la gota. La ditizona se utiliza incluso en un método de valoración colorimétrica del plomo. Pero ambas vienen perturbadas por el catión mercúrico que forma compuestos coloreados con los reactivos. Se evita esta acción perturbadora y las reacciones resultan específicas, ocultando el mercurio con cianuro potásico; el cianuro mercúrico formado, soluble, está tan poco disociado que prácticamente no se considera como electrolito; sólo el sulfhídrico es capaz de precipitar el Hg^{++} y el Pd^{++} sustraer el CN^{-} para formar precipitado insoluble. En general, se evita la acción molesta del mercurio en las reacciones ocultándole convenientemente en forma de cloruro o cianuro mercúricos poco disociados. Por la misma razón, cuando el CN^{-} perturbe algún reconocimiento, se le oculta por adición de sal mercúrica, y así Montequí (1) propone para reconocer cloruros en presencia de cianuros el nitrato argénto-mercúrico; si al añadir el reactivo hay precipitado persistente, existen cloruros.

Los molibdatos interfieren la reacción de la difenilcarbocida con el catión mercúrico o con los cromatos; la formación de un heteropoliácido bastante perfecto como el oxalomolíb dico (MoO_3)₂. $C_2O_4H_2$ (en realidad se trata aquí de un verdadero complejo), oculta el molibdeno hasta el punto de que si el oxálico está en exceso, ya no es posible precipitar el molibdeno con SH_2 , y si es el molíb dico el que predomina entonces el oxálico ya no puede valorarse con permanganato ni precipitar con Ca^{++} en medio acético.

La apatencia del molíb dico y del wolfrámico para formar heteropoliácidos, además de servir de base para ocultaciones adecuadas, puede aprovecharse analíticamente para reacciones muy útiles. En efecto por la unión del molibdeno en un heteropoliácido, se acrecienta el poder oxidante de la molécula, el molibdeno es más fácilmente reductible a grados de valencia inferiores y pue-

(1) R. Montequí.—Análisis Inorgánico Cualitativo.—Madrid, 1945, pág. 257.

de lograrse con sencillez la formación del molibdato de molibdenilo o azul de molibdeno. En este hecho se basa la siguiente interesante reacción de los silicatos: A unas gotas de la disolución problema, (si se trata de un residuo disolverle con sosa pura y reciente, o si es insoluble disgregarle previamente con carbonato sódico-potásico en crisol de níquel), se añade un poco de molibdato amónico en polvo, doble volumen de nítrico diluído y se calienta suavemente; se formará coloración amarilla del ácido silíceo-molibdico, si hay sílice. Después de frío se adiciona estannito sódico y recientemente preparado, o bien unas gotas de acetato de bencidina y acetato sódico sólido para rebajar la acidez; en ambos casos se producirá una coloración azul intensa. Con la bencidina resulta favorecida la reacción, puesto que además del azul de molibdeno se producirá por oxidación la combinación meroquinoide azul de la bencidina. Análogo fundamento tiene la identificación del fosfato y distinción del arseniato en un precipitado obtenido con mixtura magnesiana. Se añaden al precipitado unas gotas de acético hasta acidez, se pone una gota sobre un buen papel de filtro (de los empleados en cuantitativa), encima otra del reactivo nitro-molibdico después otra de acetato de bencidina; se expone la mancha a los vapores de amoniaco y cuando se haya neutralizado el ácido mineral aparecerá un color azul intenso si hay fosfatos. Cuando se trata de un arseniato la reacción es negativa por que el arsénico no exalta el poder oxidante del molibdeno en tan alto grado como el fosfórico. Según Feigl (1), por este procedimiento pueden reconocerse 1,5 γ de ácido fosfórico junto a 1,5 mlgs. de ácido arsénico, es decir, en una relación de 1/1.000.

2.º *Ocultación por formación de complejos.*—Este método es el más general y corriente; incorporando el ión a los iones perturbadores al átomo central o a los ligandos de un complejo, se logra fácilmente que no se verifiquen reacciones molestas en el seno del sis-

(1) Feigl, op. cit., pág. 235.

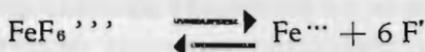
tema reaccionante. El complejo ha de ser de estabilidad adecuada, según lo que se trate de evitar o se pretenda encubrir.

Desde este punto de vista podemos hablar de un «grado de ocultación»; grado que dependerá, entre otras circunstancias, de los importantes factores siguientes: estabilidad del complejo, sensibilidad de la reacción que se trate de evitar, pH, variaciones del potencial de oxido-reducción.

Estudemos la decoloración del complejo de color rojo intenso ferritociánico por el anión fluoruro: La mayor apetencia del fluor por formar complejo incoloro con el hierro obliga a un desplazamiento del anión tiociánico, produciéndose la decoloración.



El complejo ferrifluorhídrico, aunque muy perfecto, se encuentra algo disociado en sus iones:



Para un pH=2, el producto iónico o de estabilidad del complejo vale:

$$K_e = C_{\text{Fe}'''} \times C_{\text{F}'}^6 = 4.10^{-14}$$

Suponiendo que no haya exceso de alguno de los iones y que éstos procedan exclusivamente de la disociación del complejo, por cada ión férrico habrá seis iones fluoruro, o sea, la concentración iónica del segundo será seis veces mayor que la del primero. Escribiendo el producto de estabilidad en función exclusiva de Fe''' $C_{\text{Fe}'''} \times (6C_{\text{Fe}'''})^6 = 4.10^{-14}$ de donde $C_{\text{Fe}'''} = 10^{-2.58}$ iones gr/litro

Como la sensibilidad de la reacción del Fe''' con el SCN' es tal que permite revelar hasta 10^{-6} iones gr. por litro, resulta que por la adición de la cantidad teórica de fluoruro no se llegaría al grado de ocultación suficiente para que la reacción resultase negativa. Pero si se añade un exceso de F' , por ejemplo 10 veces más, entonces la concentración de ión Fe''' se hace un millón de veces más pequeña, sería igual a $10^{-8.58}$, el complejo quedaría decolorado y so-

lo un reactivo tan sensible que permita descubrir menos de $10^{-8,58}$ iones gr. de Fe^{+++} por litro daría reacción positiva.

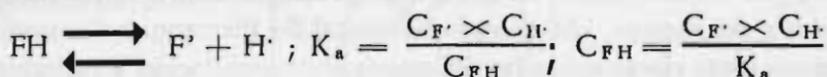
Es decir, el grado de ocultación depende, a la vez, de la estabilidad del complejo y de la sensibilidad de la reacción a evitar.

Influencia del pH.—Si se añade iones H^+ a la solución del complejo ferrifluorhídrico, el F^- , base debil, acepta el protón para formar FH poco disociado por su naturaleza de ácido debil; en consecuencia, el complejo se disocia más y su estabilidad disminuye. En este caso el grado de ocultación, dentro de ciertos límites, es proporcional al pH , disminuye con la acidez.

Se puede establecer una relación matemática entre la concentración de ión férrico y el pH . Suponiendo que no haya exceso de reactivo, el F^- procedente de la disociación del complejo se encontrará en parte como anión libre y en parte formando FH . Se verificará entonces

$$6 C_{\text{Fe}^{+++}} = C_{\text{F}^-} + C_{\text{FH}} .$$

La concentración de FH viene definida por la constante de equilibrio del ácido



Substituyendo, $6 C_{\text{Fe}^{+++}} = C_{\text{F}^-} + \frac{C_{\text{F}^-} \times C_{\text{H}^+}}{K_a} = C_{\text{F}^-} \left(1 + \frac{C_{\text{H}^+}}{K_a} \right)$

Elevando a la sexta potencia y multiplicando por $C_{\text{Fe}^{+++}}$, se tiene:

$$6^6 C_{\text{Fe}^{+++}}^7 = C_{\text{Fe}^{+++}} \times C_{\text{F}^-}^6 \left(1 + \frac{C_{\text{H}^+}}{K_a} \right)^6 = K_e \left(1 + \frac{C_{\text{H}^+}}{K_a} \right)^6 ,$$

$$\text{de donde: } C_{\text{Fe}^{+++}} = \sqrt[7]{\frac{K_e}{6^6} \left(1 + \frac{C_{\text{H}^+}}{K_a} \right)^6}$$

Si $C_{\text{H}^+} < K_a$, será $\frac{C_{\text{H}^+}}{K_a} < 1$; a medida que disminuya la acidez esta fracción llegará a ser despreciable frente a 1, y entonces

esta fracción llegará a ser despreciable frente a 1, y entonces

$$C_{Fe^{3+}} = \sqrt[7]{\frac{K_e}{6^6}} = 10^{-2.58}, \quad \text{es decir, la teórica calculada}$$

antes; la $C_{Fe^{3+}}$ no cambia y el grado de ocultación no varía. Pero

si $C_{H^+} > K_a$ la relación $\frac{C_{H^+}}{K_a}$ aumenta tanto al aumentar la acidez

$$\text{que es 1 el término despreciable; en este caso } C_{Fe^{3+}} = \sqrt[7]{\frac{K_e}{6^6} \left(\frac{C_{H^+}}{K_a} \right)}$$

Se observa que aquí la $C_{Fe^{3+}}$ es proporcional a C_{H^+} y que el complejo se destruye a medida que aumenta la acidez, o que disminuye el pH.

Como $K_a = 10^{-4.8}$, por encima de un pH = 4,8 la estabilidad del complejo no cambia; para un pH inferior a 4,8 el complejo se disocia más y produce los suficientes iones Fe^{3+} para evitar la ocultación.

Influencia de la variación del potencial rédox.—La desaparición de un ión por su ocultación en un complejo influye sobre el potencial rédox del sistema. Un ejemplo elemental de Electroquímica suministra ideas claras sobre las relaciones entre ocultación y variación del potencial: El Zn desplaza al catión Cu^{2+} de sus soluciones y le precipita; el equilibrio del sistema Zn/ Cu^{2+} se alcanzará cuando sus potenciales calculados con arreglo a la fórmula de Nernst se equilibren:

$$\begin{aligned} E_o + \frac{0.058}{2} \log C_{Zn^{2+}} &= E_o + \frac{0.058}{2} \log C_{Cu^{2+}} \\ -0.76 + \frac{0.058}{2} \log C_{Zn^{2+}} &= 0.35 + \frac{0.058}{2} \log C_{Cu^{2+}} \\ \log \frac{C_{Zn^{2+}}}{C_{Cu^{2+}}} &= \frac{2.22}{0.058} = 38, \quad \text{o sea : } \frac{C_{Zn^{2+}}}{C_{Cu^{2+}}} = 10^{38} \end{aligned}$$

Es decir, prácticamente todo el cobre precipita.

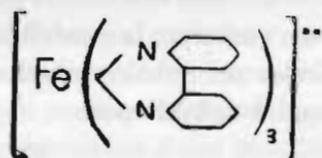
Sin embargo, si se añade a una disolución que contiene iones

Zn⁺⁺ y Cu⁺⁺, cianuro alcalino en exceso para formar los complejos Zn (CN)₄²⁻ y Cu (CN)₃⁻, por ser éste mucho más estable ($K_e = 5,10^{-28}$) que el del Zn, hay una desaparición casi completa de iones

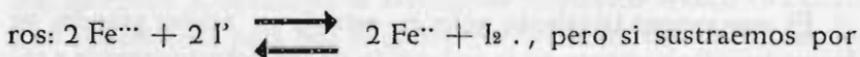
Cu⁺⁺; la relación $\frac{C_{Zn^{++}}}{C_{Cu^{++}}}$ se hace enseguida tan grande que llega a

ser bastante mayor que 10⁸⁸ y en consecuencia el Zn ya no precipita el Cu; sería al revés, introduciendo en la disolución cianurada una lámina de Cu se lograría formar sobre ella un depósito de Zn.

Merece citarse por sus aplicaciones analíticas el hecho de que la ocultación por formación de complejos estabiliza la valencia correspondiente. En efecto, las sales ferrosas son extraordinariamente inestables por su rápida oxidación al aire; pero es suficiente su ocultación en un complejo tan imperfecto como es la sal de Mhor (SO₄)₂ Fe (NH₄)₂, para estabilizarla hasta el punto de que sirve de base para la permanganimetría. Y si el complejo es muy perfecto, como el interno rojo intenso obtenido con el «x»-dipiridilo, en-



tonces es la sal férrica la que tiende a pasar a ferrosa en presencia de reductores débiles que en las condiciones corrientes no ejercen acción alguna.—En medio ácido, el catión férrico oxida a los ioduros:



pero si sustraemos por ocultación el Fe³⁺ mediante adición de fluoruros, tartratos, etc., es posible valorar la sal ferrosa por iodometría, lo que significa una exaltación del poder reductor del ión ferroso. En general, puede decirse que la ocultación de un ión por formación de complejo, origina la exaltación de la aptitud reaccional del ión antagónico.

Conocida es la inestabilidad de las sales cuprosas; sin embargo, el complejo del Cu más perfecto conocido es el cuprocianuro

Cu(CN)₃²⁻) citado anteriormente, de estabilidad tal que el Cu ya no precipita con SH₂ en medio ácido a pesar del escaso producto de solubilidad del sulfuro de cobre, hecho que se utiliza en la marcha analítica para la investigación del cadmio en presencia de Cu⁺⁺.

También es posible estabilizar el catión cúprico por su incorporación a un complejo hasta el punto de no ser reducido por substancia que en las condiciones corrientes obran sobre él. Por ejemplo, se puede determinar cuantitativamente el cobre por precipitación al estado de tiocianato de cupripiridina (SCN)₂ [Cu Py₄] en cuya molécula se enfrentan tiocianato y cobre divalente sin reducción.

El catión cobáltico Co⁺⁺⁺ es muy inestable; sólo puede existir en medio ácido fuerte, puesto que el hidróxido Co(OH)₃ precipita a un pH bastante bajo. Por otra parte el potencial normal del sistema Co⁺⁺⁺ / Co⁺⁺ es tan elevado, (1,80 v.), que el Co⁺⁺⁺ reacciona con el agua, oxidándola:



Bien conocida es, sin embargo, la estabilidad de los complejos cianurados y amoniacales del cobalto trivalente. El potencial del sistema Co⁺⁺⁺ / Co⁺⁺ vendrá definido por:

$$E = 1,80 + 0,058 \log \frac{C_{\text{Co}^{++}}}{C_{\text{Co}^{+++}}}$$

La disminución de la concentración de ión cobáltico, hace disminuir también el potencial y cesa la reacción sobre el agua.

El manganeso trivalente solo es estable en acidez grande; se forma transitoriamente en la reducción de los permanganatos a sales manganosas. Los potenciales de los correspondientes sistemas son:

$$E = E_0 + \frac{0,058}{4} \log \frac{C_{\text{Mn}^{7+}}}{C_{\text{Mn}^{3+}}}, \quad E' = E'_0 + 0,058 \log \frac{C_{\text{Mn}^{3+}}}{C_{\text{Mn}^{2+}}}$$

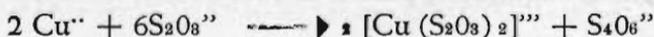
donde E₀ es bastante mayor que E'₀'. Pero en presencia de iones F⁻ la apetencia de éstos a formar con Mn⁺⁺⁺ el complejo MnF₆³⁻,

hace que E aumente y E' disminuya y, en consecuencia, la reducción tenga tendencia a estabilizarse al llegar a Mn⁺⁺⁺, lo que es de tener muy en cuenta en las permanganimetrías.

La ocultación por formación de complejos constituye uno de los capítulos más interesantes de la Química Analítica. Los ejemplos precedentes habrán dado ya idea de su importancia. Su estudio es altamente sugestivo y su práctica ofrece nuevas posibilidades en el aprovechamiento de las reacciones analíticas.

Como parte final de esta conferencia, expondré nuevos ejemplos y citaré casos de ocultación, entresacados de los múltiples que el análisis nos ofrece, que son interesantes por su importancia práctica.

La dimetilglioxima es un excelente y conocido reactivo del Ni, casi específico; perturban la reacción, además de los iones platinoso y paladioso, Fe⁺⁺ Co⁺⁺ y Cu⁺⁺. La acción molesta del Fe⁺⁺ y Co⁺⁺ se evita fácilmente; no así la del Cu⁺⁺ que es el verdadero perturbador y el que con más frecuencia acompaña al Ni, tanto en los minerales como en las aleaciones. Cuando la cantidad de cobre es superior a la del níquel—caso corriente—, no puede descubrirse este último con dimetilglioxima, en lugar del precipitado rojo se obtiene una coloración verde oscura; es necesaria la eliminación previa del cobre por electrolisis o por precipitación con sulfhídrico. Hay, sin embargo, un proceso de ocultación debido a J. Ranedo (1), mediante el cual es posible la determinación cuantitativa de níquel con dimetilglioxima aun en presencia de cantidades grandes de cobre. Consiste en la adición de tiosulfato sódico en cantidad conveniente para que el cobre quede oculto bajo la forma de complejo cuprotiosulfúrico que ya no ejerce acción sobre el reactivo.



(1) J. Ranedo.—Investigación y determinación cuali y cuantitativa del níquel por medio de la dimetilglioxima en presencia del cobre.—An. Soc. Esp. F. y Q., 32, 611, 1934.

G. Charlot (1), emplea la dimetilglioxima ferrosa, de color rojo intenso, como indicador de óxido-reducción para la investigación de ferricianuros en presencia de ferrocianuros. Prepara el reactivo de la manera siguiente: Añade a una gota de sulfato ferroso N/10, medio cc. de solución de dimetilglioxima al 1% y diluye con mezcla reguladora de amoníaco y cloruro amónico molar, para conseguir un pH aproximadamente igual a nueve, hasta color rosado débil. Añadiendo sobre el reactivo la solución problema gota a gota, si hay decoloración indica la presencia de ferricianuro. Como en medio alcalino se acrecienta el poder oxidante del ferricianuro en tal grado que el sistema ferri-ferrocianuro a un pH igual 9 alcanza un potencial normal igual a 0,45 v., resulta que esta reacción es casi específica; únicamente estorban los oxidantes energéticos en medio alcalino, I_2 , IO_3^- , ClO_3^- etc. La concentración de iones ferrocianhídricos puede ser 10 veces más grande que la de los ferricianhídricos. Obsérvese cómo en esta reacción el grado de ocultación es tal que pueden enfrentarse hierro di y trivalente con hierro y ferricianuro sin que se formen los azules de Turnbull o de Prusia.

La separación cuantitativa de estaño y antimonio adoleció siempre de dificultades hasta que Wortman y Metzel resolvieron el problema añadiendo exceso de oxálico con el cual el ión estánnico forma un complejo de tal perfección que ya no precipita con SH_2 , mientras que el antimonio puede hacerlo cuantitativamente en acidez adecuada. Este hecho ha sido incorporado por Curtman (2) a la marcha analítica corriente para la investigación de antimonio en presencia de estaño.

El exceso de fluoruro también impide la precipitación del estánnico por el sulfhídrico; pero si se añade ácido bórico, la mayor

(1) G. Charlot.—Nouvelle Méthode d'Analyse Qualitative.—París, 1942 Pág. 229.

(2) L. J. Curtman.—Análisis químico cualitativo.—3.ª ed. esp.—Barcelona, 1944 pág. 311.

apetencia del fluor para formar complejo estable fluorbórico F_4B' , hace que el estánnico quede al descubierto y libre para precipitar sulfuro.

Un complejo del fluor de gran estabilidad es el que forma con el circonio, circunstancia en la que se fundamenta la conocida reacción de Böer de los fluoruros: se forma previamente la laca rojo violeta del circonio con el alizarinsulfonato sódico y se adiciona el problema; en presencia de fluoruro, la formación preferente del complejo ZrF_6'' , origina la destrucción de la laca y el cambio de color al amarillo del colorante.

Muchos más ejemplos podría citar; pero ello me obligaría a salir de los límites de amenidad que forzosamente ha de presidir una disertación de tipo científico para que no caiga en la monotonía o en la aridez.

Y termino recordando a aquellos que se inician en el análisis químico que trabajen con ahinco y con fe, que no se desalienten en los primeros fracasos. Pocas partes de la Química serán tan atractivas y sugestivas como la práctica del análisis; será éste, si se quiere, trabajo oscuro, a veces pesado, de humilde picapedrero, pero que encierra la belleza, el atractivo y hasta el orgullo de poder penetrar en los secretos de la naturaleza, llegar hasta los cimientos mismos constitutivos de los edificios moleculares, descubrir la intimidad de los enlaces y, en suma, contribuir de un modo asombrosamente eficaz al desarrollo y progreso de la ciencia.

Oviedo, mayo de 1946.

EL SISTEMA PERIODICO EN QUIMICA ANALITICA

POR

SIRO ARRIBAS JIMENO

Profesor de la Facultad de Ciencias

Desde que se nos encomendó la tarea y la responsabilidad de explicar la asignatura de Química Analítica 1.º, ha sido nuestra preocupación constante, para corresponder a quien nos otorgó confianza tan inmerecida, lograr la formación en nuestros alumnos de una buena base científica explicativa de los fenómenos analíticos. Para ello hemos puesto, al lado de nuestra escasa experiencia, una gran voluntad por superar las dificultades que suponen en la enseñanza del Análisis Químico las clases numerosas y los laboratorios creados para el alumnado de hace unas cuantas décadas. Hemos procurado facilitar en lo posible la labor del estudiante, tanto en la parte práctica introduciendo modificaciones en las marchas analíticas clásicas para hacerlas más adecuadas al tiempo disponible de laboratorio y a la escasez de reactivos, como en la parte teórica, en la que hemos procurado seguir siempre las nuevas orientaciones en los procedimientos didácticos del Análisis químico, orientaciones que, como decíamos en una de nuestras confe-

rencias dadas en el pasado curso (1), tienden a transformar una ciencia que fué puramente descriptiva y rutinaria, en ciencia racional, clara y lógica, que concilie en conjunto armónico teoría y práctica, leyes fundamentales y parte descriptiva, sin bruscas soluciones de continuidad; que de al estudiante una perfecta visión de conjunto científico, no de simple recetario o formulario práctico, de unidad doctrinal, con normas que enlazan, razonan y explican los procesos y que le facilitan la labor sin exigirle un gran esfuerzo memorista.

Sucede, que el estudiante de Química Analítica, al iniciarse en esta asignatura y penetrar en su campo por el umbral del análisis cualitativo, se encuentra con un terreno demasiado árido, surcado por una excesiva descripción de métodos de separación y de reacciones de identificación que muchas veces tiene que aprenderse de memoria, ya que no le ayudan mucho unas prácticas realizadas casi siempre con premura de tiempo, espacio y material, como consecuencia fundamental de esa plétora de vocaciones químicas que desde hace unos años inunda la mente de nuestros bachilleres.

Y los textos corrientes que le sirven de guía no suelen ser muy adecuados para una perfecta formación de química analítica del alumno; antes bien, expuestos conforme a normas que ya se van haciendo demasiado antiguas, dejan en el estudiante la sensación de que el Análisis Químico es un conjunto de procesos y de métodos formularios, tipo standard, que poco o nada tiene que ver con las leyes fundamentales que estudió en Química general y con esa formidable analogía y unidad en las propiedades de los elementos que aprendió en el razonado estudio de la Química Inorgánica deducido del Sistema Periódico. Es curioso que en la mayoría de estos textos no se haga alusión al Sistema Periódico, o que a lo sumo, esta alusión quede limitada a publicar la tabla periódica, como mera ilustración del texto, pero sin sacar de ella en-

(1) «Ocultación de los iones», en este mismo número.

señanzas aplicables al Análisis Químico, ni utilizarle tan siquiera como recurso nemotécnico en una asignatura en la que tanto hay que usar, y a veces abusar, de la memoria. Una excepción notable debemos hacer. El gran maestro y analista, profesor R. Montequi, en su texto «Análisis Inorgánico Cualitativo. (Teoría y Práctica).—Madrid, 1945», siguiendo las normas pedagógicas que caracterizan sus publicaciones, no sólo dedica un capítulo a esta interesante cuestión, sino que aprovecha las enseñanzas que de ella se deducen para facilitar la comprensión y retención de la parte descriptiva. Muchos ejemplos que figuran en este trabajo están sacados de ese gran libro que nos atrevemos a calificar como uno de los más didácticos de los dedicados a la Química Analítica cualitativa.

Es bien sabido que el Sistema Periódico constituye un recurso extraordinario para el estudio de la Química. Contribuye, más que ninguna ley general, más que ningún fundamento teórico a darla carácter de unidad doctrinal y a simplificarla. A través de sus encasillados, de sus grupos y períodos, deje entrever el Sistema Periódico la maravillosa armonía de la materia en sus múltiples manifestaciones; y el espíritu inquieto, observador y filósofo, el que no se conforma con el fenómeno sino que intenta penetrar en el noúmeno, en el porqué de las cosas, queda admirado ante ordenación tan sorprendente que le hace vislumbrar la inefable simplicidad de lo infinito.

He aquí el tema que pretendemos esbozar—desarrollar sería empresa demasiado ardua—en este trabajo dedicado al estudiante de Análisis cualitativo: «Aplicaciones de la Tabla periódica al estudio de la Química Analítica cualitativa inorgánica.»

LA TABLA PERIODICA: DIVISION.—Utilizamos para nuestro objeto el Sistema Periódico largo, según Werner, con algunas pequeñas modificaciones, tal como aparece en la fig. 1.

Adaptándonos a la terminología de los analistas, no empleamos la clasificación tradicional de los elementos en metales, no metales

y semimetales, sino en elementos que pueden originar cationes sencillos y en elementos que carecen de esa propiedad. Estos últimos pertenecen a las columnas b y están incluidos en el recuadro que figura en la extrema derecha de la tabla; comprenden todos los no metales clásicos más B y Si, que suelen figurar como semimetales y que añadimos porque aunque esos elementos pueden funcionar en algunas combinaciones como electropositivos—fluoruro de silicio, tricloruro de boro—se hidrolizan fácilmente y no pueden producir catión sencillo. El hecho de que Se y Te figuren en algunas marchas analíticas como pertenecientes al segundo grupo analítico, no debe interpretarse como si fueran formadores de cationes; lo que sucede es que ambos precipitan al estado elemental en virtud de la acción reductora del SH_2 .

La propiedad de formar aniones sencillos sólo la poseen siete elementos: los cuatro halógenos y S, Se y Te, pues aunque existen nitruros, fosfuros, carburos etc., estas combinaciones no toleran la hidrólisis y se descomponen en medio acuoso con desprendimiento de amoniaco, fosfamina, acetileno, etc.

SISTEMA PERIÓDICO

GRUPOS →

Periodos ↓	Ia	IIa	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	VIII	Ib	IIb	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	O		
1	H			ACIDEZ DE CATIONES ↗ ↘ BASICIDAD DE ANIONES ↖ ↙												H	He	
2	Li	Be	B								B	C	N	O	F	Ne		
3	Na	Mg	Al									Si	P	S	Cl	Ar		
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ma	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	85	Rn
7	87	Ra	Ac	Th	Pa	U												

≡ Tierras raras

Figura I

En la formación de aniones complejos—como en la de cationes—ya interviene la carga del elemento principal. Así, N, S y Cl, por ejemplo, pueden formar los aniones complejos NO_3' , SO_4'' y ClO_4' cuando funcionan con las valencias positivas 5, 6 y 7 respectivamente y cualquier otro elemento, aunque pertenezca a las columnas a, puede originar aniones del mismo tipo funcionando con análogas valencias; por ejemplo, V, Cr y Mn formarían los aniones VO_3' , CrO_4'' y MnO_4' . La diferencia, sin embargo, es fundamental y depende de la posición del elemento en la tabla. En efecto, los aniones últimamente citados pueden ser reducidos fácilmente a catión sencillo, cosa que no es posible efectuar con el NO_3' , SO_4'' o ClO_4' , con lo cual la división de los elementos que hicimos al principio subsiste con toda su amplitud y es válida incluso en las combinaciones complejas.

En una visión de conjunto de la tabla periódica, se nos presenta ésta dividida en tres partes perfectamente definidas: Parte izquierda formada por los tres primeros grupos a (hacemos caso omiso de los gases nobles por no ser objeto del análisis de las soluciones). Parte derecha constituida por las cuatro últimas columnas b y parte central integrada por el resto de los elementos. Parece como si el Sistema Periódico estuviera formado por dos robustas columnas que sostienen un bloque central de elementos.

En cada parte existen propiedades comunes a los elementos que la forman. De estas propiedades indicaremos solamente aquellas que pueden ser de interés analítico.

Parte izquierda.—Sin excepción alguna, los elementos pertenecientes a ella originan cationes incoloros. Las sales son incoloras o blancas excepto las de anión coloreado—cromato de Ba, por ejemplo—; no tenemos en cuenta, claro está, los precipitados obtenidos con reactivos orgánicos (rodizatos de Ba Sr) y lacas coloreadas Mg y Al en cuya formación suelen intervenir fenómenos de adsorción. Los elementos funcionan siempre con una valencia fija positiva que corresponde al número del grupo a que pertenecen.

Parte derecha: Los cationes y aniones originados por los elementos correspondientes a esta parte son incoloros. Las sales son también incoloras o blancas, a excepción de las formadas por anión coloreado o por anión muy deformable, como los sulfuros, ioduros y óxidos. Pueden funcionar con la valencia positiva máxima que indica el número de su grupo; pero también pueden hacerlo con valencia inferior, dentro del mismo orden de paridad; así, el cloro puede tener las valencias 7, 5, 3, 1 y -1 .

Parte central: Entre el gran número de elementos que constituyen esta parte sólo cinco dan cationes incoloros y sales generalmente incoloras: Ag, Hg, Zn, Cd y Tl. Los demás pueden originar iones coloreados y sales también coloreadas.

Salvo Zn, que funciona siempre con valencia 2 positiva, los demás tienen valencia variable, sin regla fija, lo mismo dentro del mismo orden de paridad, como el oro mono y trivalente, que de paridades distintas: Ni y Co con 2 y 3, Cu con 1 y 2, Mn con 2, 3, 4, 6 y 7; etc.

CARACTER DE LAS COMBINACIONES OXIHIDROGENADAS.—Incluimos en ellas los óxidos e hidróxidos. Es de gran interés analítico conocer el carácter químico de estas combinaciones en solución acuosa, carácter que puede ser: ácido, que implica una transferencia de protones; básico, que supone un desplazamiento de hidroxiliones OH^- ; o anfótero cuando posee ambos caracteres, dependiendo del medio el que sea ácido o básico. Este carácter depende de la posición en el Sistema Periódico del elemento principal (distinto del O o H) que forme el compuesto, como se infiere de la siguiente ley: «Átomos poco voluminosos y muy cargados, de mucha valencia, originan combinaciones oxihidrogenadas de carácter ácido; átomos de gran volumen y poca carga producen combinación oxihidrogenada de carácter básico.»

Como el volumen atómico y la valencia son funciones periódicas, en definitiva, el carácter químico de estos compuestos dependerá, como hemos dicho, de la posición que ocupe el elemento

principal en la tabla. Claro está que para el analista es más interesante el radio iónico que el volumen atómico, ya que el primero varía con la carga del ión y es tanto menor cuanto mayor es la valencia (Pb^{IV} tiene un radio de $0,84 \text{ \AA}$, mientras que Pb^{II} alcanza a $1,32 \text{ \AA}$); pero como existen evidentes relaciones entre ambos y, por otra parte, es más conocida e intuitiva la curva de volúmenes

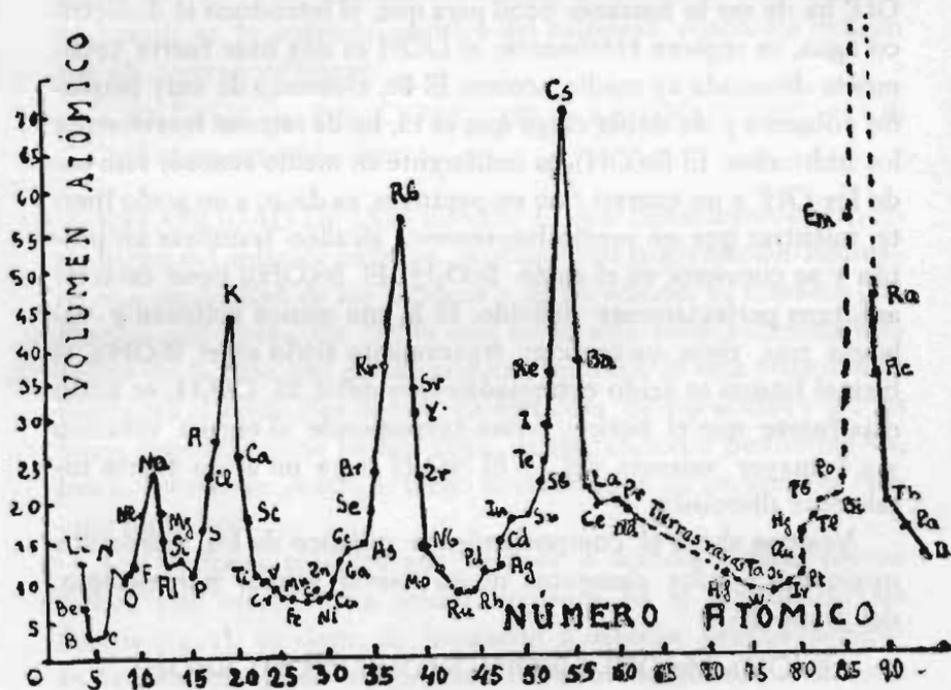
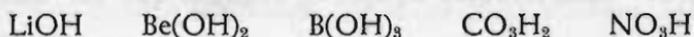


Fig. 2.

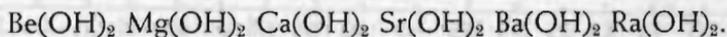
atómicos, utilizamos esta (fig. 2) en los ejemplos que siguen. El Tratado de Química Analítica de Treadwell, 3.^a ed. esp., Barcelona, 1944, publica en página 623 una tabla de radios iónicos y atómicos bastante completa donde se puede consultar en caso de duda.

De acuerdo con lo establecido y teniendo a la vista la tabla periódica y la curva de volúmenes atómicos, examinemos las combinaciones oxihidrogenadas de los elementos del segundo periodo cuando funcionan con la valencia positiva máxima:



El Li es elemento voluminoso, como todos los alcalinos, de poca carga. En consecuencia, la unión de los iones antagónicos Li^+ e OH^- ha de ser lo bastante débil para que, al introducir el dieléctrico agua, se separen totalmente; el LiOH es una base fuerte totalmente disociada en medio acuoso. El Be, elemento de muy pequeño volumen y de doble carga que el Li, ha de retener fuertemente los hidroxilos. El Be(OH)_2 es indiferente en medio acuoso; sólo cede los OH^- a un cuerpo rico en protones, es decir, a un ácido fuerte, mientras que en medio fuertemente alcalino transfiere un protón y se convierte en el anión BeO_2H^- . El Be(OH)_2 tiene carácter anfótero perfectamente definido. El B, con menos volumen y valencia tres, tiene ya carácter francamente ácido en el B(OH)_3 , si bien el bórico es ácido extremadamente débil. El CO_3H_2 es ácido más fuerte que el bórico, como corresponde al escaso volumen y a la mayor valencia del C. El NO_3H es ya un ácido fuerte totalmente disociado.

Veamos ahora el comportamiento químico de los hidróxidos originados por los elementos de un mismo grupo, por ejemplo, del grupo 2a:



Como todos tienen la misma valencia, las diferencias de carácter dependerán sólo del volumen atómico, el cual aumenta a medida que se desciende en el grupo; luego de acuerdo con la ley citada antes, el carácter básico de los hidróxidos aumentará del Be al Ra. En efecto, el Be(OH)_2 es anfótero, indiferente en medio acuoso, como hemos establecido antes. En el Mg(OH)_2 , se aumenta el carácter básico y las disoluciones o suspensiones del hidróxido en agua azulean el papel de tornasol. Los alcalino-térreos forma en bases

fuertes, siendo el $\text{Ra}(\text{OH})_2$ la base más fuerte. Así pues, el carácter ácido aumenta con la valencia; el carácter básico se acrecienta con el volumen atómico.

La ley es aplicable también cuando se quieren comparar los diversos óxidos o ácidos que forme un mismo elemento al funcionar con valencias distintas. Ejemplos: $\text{Cr}(\text{OH})_2$ es francamente básico, $\text{Cr}(\text{OH})_3$ es débilmente anfótero, CrO_3 es el anhídrido del ácido crómico. Los oxácidos del cloro son tanto más fuertes cuanto mayor es la valencia positiva del halógeno, conforme indican sus pK correspondientes:

$\text{ClOH}\dots$ pK = 7,6; $\text{ClO}_2\text{H}\dots$ pK = 4,0; $\text{ClO}_3\text{H}\dots$ pK = 1,0; ClO_4H es ya un ácido fuerte.

ESTABILIDAD DE LOS IONES: Como consecuencia importantísima del epígrafe anterior, establecemos la afirmación siguiente: «La estabilidad de los cationes y de los aniones es también una función periódica». Un catión será tanto más estable cuanto más fuerte sea la base que puede originar; un anión lo será cuanto más fuerte sea el ácido que forme. La fortaleza de los ácidos y de las bases depende, como hemos visto, de las funciones periódicas valencia y volumen atómico; luego la estabilidad de los iones es función periódica.

Los cationes sencillos son neutros o ácidos; cuanto menos ácidos más estables. La acidez aumenta en el sentido de las flechas (fig. 1), es decir, de izquierda a derecha porque aumenta la valencia y de abajo hacia arriba, dentro de cada grupo, porque disminuye el volumen. Cuanto más ácido sea un catión, mayor será la concentración de H^+ que necesita para subsistir; si la acidez del medio disminuye, el catión se hidroliza y precipita hidróxidos o sales básicas; si la acidez del catión es grande y la concentración de OH^- del medio suficiente, el catión retiene la base O^- , desplaza al protón y se transforma en anión complejo que será tanto más estable cuanto más ácido sea el catión que le ha originado.

Los aniones sencillos son neutros o básicos; cuanto menos básicos más estables. La basicidad aumenta en el sentido que indican las flechas. Cuando la basicidad del anión es suficiente, acepta los protones del agua y se convierte en molécula neutra o en catión complejo.

Ejemplos: Consideremos los elementos del tercer período. El catión Na^+ es neutro, estable en cualquier medio; por esta razón es muy difícil de identificar analíticamente por reacciones de precipitación. El Mg^{2+} es poco ácido, estable en medio ácido y neutro; el $\text{Mg}(\text{OH})_2$ no precipita hasta un $\text{pH} = 10,6$ en solución 0,001 M; por su poca acidez no se disuelve en exceso de OH^- para originar anión. Al^{3+} es catión bastante ácido; sus sales se hidrolizan fácilmente y necesitan cierta concentración de H^+ para no precipitar; el hidróxido empieza a formarse en un $\text{pH} = 4$ y se redisuelve en concentración suficiente de OH^- para formar el anión AlO_2^- o $\text{Al}(\text{OH})_4^-$. El Si tetravalente es tan ácido que se hidroliza fuertemente aun en solución muy ácida; como catión no tiene existencia práctica; sólo resiste la hidrólisis cuando se encuentra oculto en un complejo estable; SiF_6^{2-} , por ejemplo. La sílice gelatinosa precipita aún en medio ácido y se disuelve a un $\text{pH} = 10$ originando silicatos; el ácido silícico es todavía un ácido débil. Con mayor razón P pentavalente será fuertemente ácido; origina PO_4H_3 que ya puede considerarse como ácido fuerte. S exavalente y Cl con siete valencias positivas, originan los ácidos fuertes SO_4H_2 y ClO_4H .

Examinemos ahora los elementos del grupo IIIa: B trivalente es muy ácido, se encuentra completamente hidrolizado en las soluciones y no forma catión; como el Si, sólo tolera la hidrólisis cuando se le oculta convenientemente en el complejo BF_4^- ; el $\text{B}(\text{OH})_3$ es un ácido débil. Al^{3+} ha quedado antes definido como ácido y anfótero. Sc, Y, La y tierras raras originan cationes poco ácidos y bastante estables.

Esta ley se cumple en todos los grupos y períodos cuando los elementos funcionan con la valencia máxima, teniendo en cuenta, claro está, que a partir del período cuarto, el grupo VIII o de

transición establece una solución de continuidad entre las columnas a y las b.

Veamos algunos ejemplos de aniones: Segundo período: El anión F^- es una base débil; muy estable, por consiguiente. O^{2-} es base fuerte que acepta los protones para convertirse en OH^- , H_2O o H_3O^+ . El N trivalente negativo es una base tan fuerte que ya no existe como anión sencillo, puesto que capta protones para originar NH_3 o catión NH_4^+ . C tetravalente negativo es una base tan extraordinariamente fuerte que en el compuesto CH_4 ya no se liberan H^+ , los protones están fuertemente retenidos.

Grupo VI b: O^{2-} es base fuerte, como hemos dicho. S^{2-} aún es base fuerte, aunque menos que el O^{2-} ; corresponde al ácido débil SH_2 . Se^{2-} y Te^{2-} son bases débiles correspondientes a los ácidos más fuertes SeH_2 y TeH_2 .

La norma es valedera también para los diversos iones que puede originar un mismo elemento al funcionar con valencias distintas. Veamos, por ejemplo, los iones que forma el Mn en sus valencias positivas 2, 3, 4, 6 y 7. Mn divalente origina el catión Mn^{2+} poco ácido y bastante estable; el hidróxido no precipita hasta un $pH = 8,5$ y no se disuelve en exceso de OH^- ; no produce aniones. Con valencia tres forma Mn^{3+} , catión muy ácido, sólo estable en medio ácido fuerte; tampoco origina aniones. Mn tetravalente marca la transición entre cationes y aniones; el catión Mn^{4+} sólo tiene una existencia precaria en medio muy ácido; al tratar la pirrolusita, MnO_2 , por ClH concentrado se forma un Cl_4Mn pardo verdoso, inestable, que se puede extraer con éter dando color verde; en medio fuertemente alcalino se disuelve algo el MnO_2 para originar anión MnO_3^{2-} . Con valencias 6 y 7 se acrecienta tanto el carácter ácido que ya no origina cationes y sí aniones: el mangánico MnO_4^{2-} sólo estable en medios alcalino y el permangánico MnO_4^- estable en cualquier acidez.

Incluso podemos comparar elementos vecinos aunque no pertenezcan al mismo grupo o período. Por ejemplo, Be y Al. El catión Be^{2+} es más ácido que Mg^{2+} por encontrarse más arriba en el

grupo; Al^{+++} también es más ácido que Mg^{++} por hallarse a la derecha, luego Be^{++} y Al^{+++} han de tener cierta semejanza analítica. En efecto, ambos cationes son menos estables que el Mg^{++} , sus hidróxidos precipitan a un pH inferior y son anfóteros. Por esta razón el Be no aparece junto con el Mg o con los alcalinotérreos en el análisis sistemático, sino junto al Al en el tercer grupo analítico. Análogamente, tendrán cierto parecido analítico Li^+ y Mg^{++} , B y Si, etc

Esta regla no puede aplicarse cuando se intenta comparar elementos muy distanciados que no pertenecen al mismo grupo o período, o cuando se comparan elementos de las columnas a o b con el grupo VIII de transición. Así, si cotejamos Al^{+++} con Fe^{+++} vemos que el primero con un volumen atómico de 10 es anfótero, mientras que Fe^{+++} , con volumen menor, no lo es.

FORMACION DE TIOSALES: La disolución de los sulfuros metálicos en exceso de S^{--} o de OH^- —bases fuertes—para originar el anión correspondiente a la tiosal, presenta muchas analogías con la disolución de los óxidos o hidróxidos en bases fuertes. En ambos casos se cumplen las mismas reglas. Así pues, formarán tiosal los sulfuros de cationes muy ácidos, o sea, los sulfuros de los elementos de valencia elevada y poco voluminosos. Los elementos que cumplen estas condiciones, típicamente formadores de atiosales son: Ge, As, Sn y Sb, cuerpos se encuentran juntos en el Sistema Periódico. En el sulfuro estannoso, la carga dos del Sn no es suficiente para formar el anión; por eso no se disuelve en los álcalis ni en los sulfuros alcalinos, pero lo hace en el polisulfuro amónico porque el grupo lábil S_2^{--} que contiene éste le oxida a Sn tetravalente que ya posee el necesario carácter ácido para originar tioestannato: $SSn + S_2^{--} \longrightarrow Sn S_3^{--}$.

El Bi, a pesar de formar un sulfuro S_3Bi con valencia tres, no origina sulfosal por su elevado volumen atómico. Con mayor razón no lo hará el Pb cuyo volumen atómico es parecido al del Bi y solo forma SPb. El hecho de que haya tan pocos sulfuros for-

madores de tiosales frente al gran número de óxidos anfóteros o ácidos, se explica teniendo en cuenta el carácter reductor del SH_2 que tiene tendencia a formar sulfuros con valencia mínima, y a que muchos sulfuros de valencia elevada se hidrolizan fácilmente. Por ejemplo, el Mn que con el oxígeno forma las aniones manganito, mangánico y permangánico, con el S sólo forma SMn que no posee carácter ácido; los sulfuros de Al, Cr, Nb y Ta no toleran la hidrólisis. V, Mo y W, elementos de escaso volumen y que originan sulfuro con valencia elevada, forman lógicamente tiosales. También los sulfuros de Ir, Pt y Au tienen cierto carácter ácido, pero su disolución depende de la forma en que se ha llevado a cabo la precipitación de los sulfuros y de la coexistencia de otros elementos formadores de tiosales; en este caso suelen ponerse en juego fenómenos de disolución inducida.

El SHg_2 merece especial mención puesto que es el único sulfuro de metal divalente que se disuelve en los sulfuros alcalinos—no lo hace en el polisulfuro amónico—y en los hidróxidos fuertes. Este hecho, que parece una excepción de la regla general, es debido a la especial tendencia que tiene el Hg «a dar enlaces homopolares por su fuerte acción deformante sobre las trayectorias de los electrones del ión vecino».

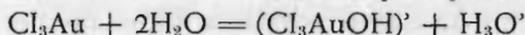
De lo expuesto se deduce que será mejor formador de tiosales el polisulfuro amónico que los sulfuros alcalinos o las bases fuertes, ya que el primero, por su carácter oxidante, forma tiosales de valencia máxima y, por consiguiente, aniones más estables. Además posee la ventaja de disolver al SSn y no atacar al SHg . Por estas razones, entre otras, en nuestra marcha analítica le utilizamos y preferimos a los álcalis cáusticos.

FORMACION DE COMPLEJOS: La estabilidad de los complejos depende de la naturaleza del átomo central y del carácter de los ligandos coordinados. Después de todo lo que llevamos dicho, se comprenderá fácilmente que los complejos serán tanto más estables cuanto más cargado y menos volumen tenga el átomo

central. Por otra parte, los ligandos negativos débiles y poco voluminosos son los que dan complejos de mayor estabilidad. Por esta razón los complejos cianurados y fluorados son mucho más frecuentes y más estables que los originados por Cl^- o Br^- , los cuales necesitan átomos centrales de pequeño volumen y gran valencia, como el Pt, para formar complejo estable.

El índice de coordinación también está relacionado con la Tabla Periódica; según la regla de Sidgwick, el índice de coordinación máximo es 2 para el H, 4 para los elementos del Li al F, 6 del Na al Br y 8 para los que siguen.

Es interesante observar que la coordinación exalta la acidez o la basicidad de los elementos que se coordinan. Así, el CNH_3 , que es un ácido débil, origina los complejos ferro y ferricianhídricos que son ácidos fuertes. Los ácidos fluorbórico y fluosilícico complejos son más fuertes que los bórico y silícico, respectivamente. Este hecho se aprovecha para hacer posible la valoración del bórico por volumetría; formando un complejo con un polialcohol (glicerina o manita) se exalta su acidez y ya es posible valorarle volumétricamente en presencia de fenoltaleína. La acidez que origina las soluciones acuosas de ciertas sales anhidras se explica por la coordinación de grupos OH^- , lo que es causa de una mayor concentración de H^+ en la solución; así, la fuerte acidez de las soluciones de cloruro de oro se explica por la reacción:



De la misma manera, las soluciones concentradas de cloruro de cinc son muy ácidas debido a la formación del complejo $(\text{Cl}_2\text{ZnOH})^-$.

Con las bases ocurre lo mismo; por ejemplo, la fenantrolina es una base débil, mientras que la ortofenantrolina ferrosa es una base tan fuerte como el hidróxido sódico.

Por su interés analítico conviene destacar los complejos amoniacales formados al añadir sobre las soluciones amoniaco en exceso hasta redisolución del precipitado inicialmente formado. Los elementos que originan este tipo de complejo se encuentran jun-

tos en el centro del Sistema Periódico, formando un rectángulo que hemos resaltado para facilitar su recuerdo. Son: Co, Ni, Cu, Zn, Rh, Pd, Ag y Cd.

APLICACION A LA DESCRIPTIVA DE LOS IONES.—Las sencillas reglas y normas que acabamos de exponer son de utilidad extraordinaria en el estudio de la parte descriptiva—la más árida—de la Química Analítica cualitativa. Sin más que saber el lugar que ocupa el elemento en la Tabla Periódica, se conocen el color de las sales y de los iones, carácter y estabilidad de los mismos, analogías con los iones vecinos, positividad del elemento, valor relativo del potencial normal (1), etc. Y con estos datos, la mayoría de las veces, se conocen ya las reacciones de identificación. Si a esto añadimos el hecho de que el estudio realizado de esta manera ordenada y científica, contribuye a una mejor formación química del alumno, habremos dado un paso más hacia esa evolución de los métodos didácticos clásicos de la Química Analítica a que aludíamos al principio de nuestro trabajo.

Veamos algún ejemplo de aplicación de estas normas. Escojamos al azar cualquier elemento; por ejemplo, el bismuto. Pertenece a la columna V b, bastante desplazado a la derecha y el último de su grupo; volumen atómico relativamente grande (21,3); valencias positivas 3 y 5.

En consecuencia, será débilmente positivo, lo que explica que se encuentre nativo, que no le ataquen los ácidos no oxidantes y que sea reducido a metal por el carbón (puede también formar aureola). Origina iones incoloros y sales también incoloras o blancas, excepto las de anión coloreado (cromato) o de anión incoloro deformable (óxido, sulfuro, ioduro).

(1) El potencial normal E_o , está relacionado también con la posición que ocupa el elemento en la Tabla. En general, aumenta de izquierda a derecha y de abajo a arriba en las columnas a, y de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo en los grupos b.

Con valencia tres forma catión Bi^{+++} bastante ácido, estable sólo en solución ácida fuerte; con poca acidez se hidroliza fácilmente con precipitación de sales básicas blancas (subnitrate, sales de bismutilo). Como la precipitación por hidrólisis comienza a partir de un $\text{pH} = 1$, o 2, darán precipitado blanco de sal básica o de hidróxido, los álcalis fuertes, amoniaco, carbonatos y fosfatos alcalinos, y el agua (reacción de hidrólisis).

Su volumen grande es causa de que su hidróxido no se disuelva en exceso y de que su sulfuro no forme tiosal, a pesar de la acidez del catión. Este gran volumen explica la poca apetencia del Bi a formar complejos: no lo hace con el amoniaco, ni con los cianuros, ni con los halógenos excepto con el I, aunque el $(\text{BiI}_4)^+$ se destruye fácilmente por dilución o por adición de base voluminosa (reacciones del ioduro de bismutilo y de la iodo-cinconina). Con el tartárico no forma complejo tan fácilmente como el Sb; el ácido tartárico no disuelve las sales hidrolizadas (diferencia del Sb), aunque si impide la precipitación del hidróxido (reactivo de Nylander).

El potencial normal E_0 del sistema $\text{Bi}^{+++}/\text{Bi} = 0,3$ voltios, lo que indica que puede ser reducidos metal sin gran dificultad; el Sn metálico lo hace en medio ácido, los estannitos alcalinos, la glucosa y el formaldehido en medio alcalino.

El Bi pentavalente será más ácido que Bi^{+++} y por eso no existe como catión; como anión tampoco cuenta analíticamente, pues los bismutatos son muy poco solubles; por otra parte, el anión bismutato ha de ser menos estable que el antimonioato, como corresponde a la menor acidez del Bi pentavalente. Con esta valencia sólo tiene interés analítico el bismutato sódico por su energético poder oxidante que es capaz de oxidar el Mn^{++} a MnO_4^- .

De esta manera se pueden estudiar fácilmente las propiedades generales y muchas particulares de todos los iones, mediante la aplicación de leyes sencillas, sin necesidad de recurrir a la enciclopédica rutina de los textos de antaño.

Oviedo, curso 1946-47.

SOCIEDAD METALURGICA "DURO-FELGUERA"

(COMPañIA ANONIMA)

CAPITAL SOCIAL: 125.000.000 DE PESETAS

CARBONES gruesos y menudos de todas clases y especiales para gas de alumbrado -- COK metalúrgico y para usos domésticos -- Subproductos de la destilación de carbones: ALQUITRAN DESHIDRATADO, BENZOLES, SULFATO AMONICO, BREA, CREOSOTA y ACEITES pesadas LINGOTE al cok -- HIERROS Y ACEROS laminados -- ACERO moldeado -- VIGUERIA, CHAPAS Y PLANOS ANCHOS -- CHAPAS especiales para calderas -- CARRILES para minas y ferrocarriles de vía ancha y estrecha TUBERIA fundida verticalmente para conducciones de agua gas y electricidad, desde 40 hasta 1.250 mm. de diámetro y para todas las presiones -- CHAPAS PERFORADAS VIGAS ARMADAS -- ARMADURAS METALICAS DIQUE SECO para la reparación de buques y gradas para la construcción, en Gijón.

Domicilio Social: MADRID -- Barquillo. 1 -- Apartado 529
Oficinas Centrales: LA FELGUERA (Asturias) " 1



LIBRERIA

"CIPRIANO MARTINEZ"

(Sucesora: Enedina F. Ojanguren)

Plaza de Riego, 1

OVIEDO

Sociedad Anónima Fábrica de Mieres

Domicilio social: ABLAÑA (Asturias)

Oficina Central: OVIEDO—Calle Argüelles, número 39

Correspondencia: OVIEDO—Apartado 134

Dirección telegráfica: FABRIMIERES (Oviedo)

LINGOTE de afino y de moldería.—Hierros laminados.
—CONSTRUCCIONES METALICAS: Puentes, calderas, vigas armadas, tinglados, mercados, vagones de hierro para minas y otros.

CARBONES propios para cok, gas y vapor.—COK superior para cubilotes y usos metalúrgicos y domésticos.

SUBPRODUCTOS DERIVADOS DE LA HULLA:

Sulfato de amoníaco, benzoles de diversos tipos, quitamanchas, solvent, etc., alquitrán deshidratado para carreteras, brea, naftalina.

AGENCIA EN GIJON: Calle de Felipe Menéndez, núm. 6



ACADEMIA ALLER

MOREDA (Asturias)

PREPARACION. TECNICOS INDUSTRIALES, BACHILLER,
COMERCIO, TAQUIGRAFIA, CAPATACES Y VIGILANTES
DE MINAS, ETC.

*Toda la correspondencia relacionada con donativos,
anuncios, suscripciones, etc., debe ser diri-
gida al Secretariado de Publica-
ciones de la Universidad
de Oviedo*

Suscripción anual ordinaria, en España. . . . 15,00 pesetas
Id. Id. extraordinaria. 50,00 pesetas
Número suelto 10,00 pesetas

*Fué impresa esta Revista en los
Talleres de la Imprenta «La Cruz»,
sita en la calle de San Vicente, de
la Ciudad de Oviedo, en el mes
de diciembre de 1946.*