

mm
RF
BOLÍVAR Y CALDERÓN

Nuevos Elementos de Historia Natural

GEOLOGIA

con nociones de *Cristalografía*.

Ilustrada con numerosos grabados.



MADRID

IMPRENTA Y ENCUADERNACIÓN DE JULIO COSANO
SUCESOR DE RICARDO F. DE ROJAS
Torija, 5.—Teléfono M-316.

1923

NUEVOS ELEMENTOS

4711

GH Naturales
37

DE

HISTORIA NATURAL

POR

I. BOLIVAR y S. CALDERÓN

Catedráticos de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central.

GEOLOGÍA

CON NOCIONES DE CRISTALOGRAFÍA

ILUSTRADA CON NUMEROSOS GRABADOS



MADRID

IMPRESA Y ENCUADERNACIÓN DE JULIO COSANO
Torija, 5.—Teléfono M-316.

—
1923

ES PROPIEDAD DE LOS AUTORES

PRÓLOGO DE LA PRIMERA EDICIÓN

Agotadas las dos ediciones de los *Elementos de Historia Natural*, que escribimos en colaboración con nuestro malogrado compañero D. Francisco Quiroga, nos hemos visto precisados, a instancias de respetables y queridos comprofesores, a intentar la redacción de otra nueva obra, destinada a satisfacer las necesidades de un grado de cultura superior al puramente elemental de la enseñanza secundaria.

Procuramos en aquella obra ofrecer al público un compendio que contuviera los primeros rudimentos de la Historia Natural entera, presentando el estado actual de tan vasta ciencia, así en la doctrina como en el tecnicismo, problema difícil y de cuya solución acertada desconfiábamos sinceramente. Nuestra aspiración se cumplió, sin embargo, en lo tocante a la buena acogida que varios compañeros en la enseñanza se dignaron prestar a aquel ensayo, la cual nunca podremos agradecerles bastante.

La experiencia adquirida con nuestros *Elementos* nos ha llevado a modificar la obra, particularmente en punto a su extensión, pues nos hemos persuadido de que, faltos los principiantes de nuestro país, en el estudio de la ciencia que nos ocupa, de la preparación necesaria y careciendo de otras fuentes de consulta, muchas cuestiones allí tratadas con brevedad han menester un mayor desarrollo para que aquéllos se penetren bien del sentido y alcance de dichas cuestiones. En esta creencia, hemos juzgado indispensable dar mayor extensión a este libro que la que alcanzó en las dos anteriores ediciones.

Respecto al plan general, que ha constituido desde el principio



la mayor novedad de nuestro trabajo, las variaciones no son radicales ni importantes en el presente libro con respecto a los anteriores; en cambio, en el detalle de la exposición de la materia, se observarán ciertas novedades, que responden unas veces a exigencias del método o de la claridad, y otras, a los adelantos que la ciencia realiza sin tregua.

Bien echamos de menos, al emprender esta obra, los consejos y la colaboración del inolvidable Quiroga, tan maestro y pedagogo como sabio naturalista, y ésta es una razón más para que solicitemos la indulgencia de las personas competentes.

Los NUEVOS ELEMENTOS que ofrecemos hoy al público constituirán, sin duda, por su extensión y forma, un doctrinal más adecuado que los anteriores para un segundo grado de estudio de la ciencia a que están destinados; pero no pensamos por ello que estén lo suficiente depurados de faltas, que nuestros compañeros en la enseñanza sin duda advertirán, y que les rogamos nos comuniquen, para procurar corregirlas en otra edición, si llegáramos a publicarla.

INTRODUCCIÓN

I

ASUNTO DE LA HISTORIA NATURAL Y SU DIVISIÓN EN TRATADOS

La *Historia natural* es la ciencia que tiene por objeto el estudio de los seres asequibles a nuestra observación. Se clasifican éstos en dos grupos: de un lado, los astros que pueblan el cielo, entre los que se cuenta la Tierra, que habitamos, y de otro, los seres dotados de vida; esto es, las plantas y los animales. Los primeros constituyen en conjunto el asunto de la *Uranografía*, que, cuando se concreta a nuestro globo, recibe el nombre de *Geología*, y aunque en realidad debiera considerarse como un capítulo de la *Uranografía*, por su extensión y medios propios de estudio, se ha constituido desde sus comienzos en una ciencia independiente. Los segundos, esto es, los seres vivos, forman el asunto de la *Biología*.

A la URANOGRAFÍA compete estudiar la pluralidad de cuerpos de distinta especie que pueblan el Universo tan sólo desde un punto de vista histórico natural (su estructura, composición pétrea, evoluciones que experimentan en el transcurso de las edades, etcétera, y aun, hasta donde sea posible, las condiciones de algunos como morada probable de organismos). Por eso la ha denominado Meunier *Geología comparada*. Los astros son también asunto de la Astronomía; pero a esta disciplina le corresponden en particular las investigaciones referentes a los movimientos, masas y densidades de los mismos, siendo una ciencia matemática en cuanto a los medios que emplea en su investigación.

La GEOLOGÍA trata de la Tierra, no ya sólo en su relieve externo, como lo hace la Geografía, sino en la composición y estructura de su interior; examina las causas de la formación de los elementos minerales que constituyen el globo terráqueo y la disposición de los mismos, tratando de averiguar la serie de cambios acaecidos en el transcurso de los tiempos, cada uno de cuyos asuntos compone un tratado de la ciencia a que nos referimos.

La BIOLOGÍA, por último, estudia los organismos que pueblan el globo, primero de un modo general, investigando los elementos y partes que los componen (*Histología y Anatomía*), y las funciones

que éstos realizan (*Fisiología*), y aplicando luego dichas nociones al conocimiento de la organización y descripción de los animales (*Zoología*) o al de las plantas (*Botánica*). El estudio particular del hombre desde el punto de vista físico constituye la *Antropología*.

La indagación referente a los seres que poblaron el globo en otras edades, y que han desaparecido, dejándonos sólo restos de sus organismos, se llama *Paleontología*; pero, en realidad, no constituye por su asunto una ciencia distinta de la Zoología y de la Botánica, sino una aplicación del conocimiento que se tiene de los seres vivos a la investigación de los restos fósiles.

II

DIVISIÓN PRIMORDIAL DE LOS SERES NATURALES

Nuestro espíritu establece una separación completa entre los seres en que reconocemos los atributos de la vida, es decir, los vegetales y los animales, y los materiales que componen la Tierra y los demás astros. Al conjunto de los primeros suele llamarse *mundo orgánico*, en oposición al *inorgánico* o *mineral*, constituido por los segundos.

La distinción entre estas dos grandes categorías de seres, que a primera vista parece de tal modo notoria que sus diferencias resaltan mucho más que las analogías, no es, sin embargo, tan fácil de establecer como pudiera creerse. Desde luego, se advierte que los factores primordiales de la Naturaleza, tiempo, espacio, materia y fuerza, son comunes a todos los seres, y, además, que unos y otros están sujetos a un cambio incesante de substancia y de fuerza que demuestran claramente la comunidad que entre ellos existe.

Los naturalistas y filósofos se han preocupado de establecer las notas distintivas entre los cuerpos minerales o brutos y los orgánicos, formulando un gran número de caracteres diferenciales, que no tienen todos ellos el mismo valor, pues muchos son meramente relativos, y aun producto de una observación incompleta, que los descubrimientos ulteriores han obligado a rectificar. Limitándonos a los caracteres más trascendentales enunciados hasta ahora, haremos las siguientes consideraciones:

a) Las materias minerales se presentan al exterior o con formas geométricas o con otras irregulares, y, en general, interiormente sus moléculas están dispuestas de un modo simétrico, lo cual se prueba haciendo secciones delgadas de ellas y examinándolas a la luz polarizada. En cambio, los organismos tienen tendencia a ofrecer formas redondeadas, e interiormente están constituidos por agregados de elementos microscópicos de substancia blanda, envuelta generalmente por una membrana (célula). De aquí resulta una *estructura cristalina* en los seres minerales y *celular* en los orgánicos.

b) Por lo tocante a la composición química, se diferencian asimismo las sustancias de las dos categorías de seres indicadas, no en lo que se refiere a los elementos que las constituyen y que el análisis químico reconoce como cuerpos simples o indescomponibles (oxígeno, hidrógeno, carbono, nitrógeno, etc.), sino por la disposición o modo de agrupamiento de las moléculas que originan por su combinación. Los cuatro cuerpos que acabamos de indicar, en combinaciones y permutaciones infinitas, dan lugar a la pluralidad de compuestos que estudia la Química orgánica, y cuya complejidad no reside, por tanto, en el número de los compuestos, sino en su diversidad arquitectónica.

Entre los cuerpos indicados prepondera bajo este respecto el carbono, cuyos compuestos son tan numerosos, que a la Química orgánica se la podría llamar, como ya lo han dicho algunos, la Química del carbono.

c) Las propiedades físicas de los cuerpos minerales difieren de las de los orgánicos, por ser aquéllos cristaloides y éstos coloides o mezclas de cristaloides y coloides. Como es sabido, colocando sobre la membrana orgánica del dializador una mezcla de ambos cuerpos y sumergiéndole en otro recipiente de agua, sólo el cristaloides la atraviesa, en virtud de su mayor difusibilidad. En el seno de los organismos vivos se están operando constantemente desprendimientos y penetraciones de sustancias por el fenómeno de la diálisis y de otros procesos físicos y químicos, determinando la movilidad de sustancias propia de la actividad vital.

d) Como consecuencia de las propiedades físicas y químicas de la materia orgánica, se realiza en los seres vivos un doble movimiento de composición y de descomposición de su sustancia (proceso nutritivo), dependiente de un cambio molecular continuo con el mundo exterior. Dichos seres renuevan incesantemente, gracias a este proceso, la materia de que están constituidos, la cual es así tan pronto destruida como repuesta. Pero la que en forma de alimento toman del exterior no es sólo materia que ha de reemplazar a la que el organismo pierde, sino que, como el carbón consumido por la máquina de vapor, es un vehículo de fuerzas que se desarrollarán en sus tejidos. Los seres vivos son, pues, un conjunto armónico de sustancias dotadas de energías, que, incorporadas en forma potencial, se cambian en fuerzas vivas en el laboratorio del organismo.

e) La existencia individual de los seres vivos recorre un ciclo desde el nacimiento a la muerte, en el que pueden reconocerse tres fases: infancia, durante la cual los ingresos superan a las pérdidas, y en la que, por tanto, el crecimiento es continuo; edad adulta, en la que se equilibran los ingresos con las pérdidas, y vejez, en la que las pérdidas son mayores que los ingresos y que, por consiguiente, termina con la muerte del individuo. Durante este ciclo de la vida, el ser renueva totalmente su sustancia muchas veces, pero sin perder jamás los caracteres de su forma, aunque experi-

mentando los cambios propios de cada edad según las especies. Además, el crecimiento está determinado dentro de ciertos límites, que los organismos no traspasan nunca.

f) Por último, cada ser orgánico debe su existencia a otro u otros semejantes y anteriores a él en el tiempo que le han engendrado por vía de reproducción; pero nunca, al menos en las condiciones actuales de la vida del globo, a la unión directa de los elementos químicos que constituyen dichos seres, ni a la regeneración de la materia orgánica descompuesta, como supusieron algunos químicos y naturalistas partidarios de la generación espontánea, y como aun cree el vulgo en general.

Los caracteres indicados, con ser los más importantes para definir los organismos y distinguirlos de los minerales, no tienen, sin embargo, el valor absoluto que parecen revestir a primera vista, porque se fundan esencialmente en negar los conceptos de vida y de individualidad a los segundos; lo cual, si parece muy natural tratándose de las piedras, no lo es tanto cuando se considera a los astros como las individualidades minerales, según el punto de vista del profesor González de Linares. Cada cuerpo celeste recorre, en efecto, un ciclo desde un estado inicial a otro final, y en este concepto es un verdadero individuo, siquiera sea de una categoría especial.

De lo dicho se infiere que las denominaciones de *orgánico* e *inorgánico*, aunque universalmente empleadas, son, en realidad, inexactas, pues hasta en el concepto filosófico de la palabra, orgánico lo es todo en el mundo, y si se quiere indicar con aquel calificativo, como acontecía en la infancia de la ciencia biológica, que los seres así distinguidos poseen órganos, hoy sabemos que no sucede esto en muchos vegetales y animales sencillísimos, reducidos no más que a células aisladas o agrupaciones homogéneas de ellas (1).

III

BREVES NOCIONES DE URANOGRAFÍA

La esfera celeste.—Las estrellas se muestran a la observación empírica como puntos brillantes fijos en una inmensa bóveda, en la cual nuestro globo ocupa el centro. Toda ella parece girar alrededor de uno de sus diámetros en veinticuatro horas; pero unas estrellas permanecen constantemente sobre el horizonte, al paso que otras salen y se ponen.

Considerando como una esfera el cielo entero, se admite un eje ideal, cuyas extremidades o *polos* son: uno *boreal* o *ártico*, visible para Europa, y otro opuesto a él, que es el *austral* o *antártico*. El círculo máximo de la esfera celeste, cuyo plano es perpendicular

(1) El profesor González de Linares propuso, como más conveniente para distinguir y denominar las dos categorías de seres indicados, los términos de *sidéreos*, para los llamados inorgánicos, y *episidéreos*, para los orgánicos.

al eje de que hablamos, recibe el nombre de *ecuador celeste* y divide al Mundo en dos hemisferios (boreal y austral), y paralelamente al ecuador se admiten otros círculos, que son los *paralelos*. Los círculos máximos que pasan por los polos son llamados *meridianos de la esfera celeste*, siendo, por tanto, perpendiculares al ecuador.

Las *estrellas* son astros centrales de sistemas colocados a distancias enormes; pueden estar aisladas o en masa. Desprenden luz y han sido clasificadas en blancas, amarillas y rojas. En torno del Sol, que es una estrella amarilla, giran unos cuerpos menores, que son los *planetas*.

A la simple vista se perciben unas 5.000 estrellas; pero, con ayuda del telescopio, es dado ver hasta 20.000.000, próximamente. Por su brillo, se las clasifica en 18 magnitudes, y de ellas, las de las seis primeras son perceptibles a la simple vista; clasificación que nada nos dice respecto a las dimensiones absolutas ni relativas de las estrellas.

Llámase *constelaciones* a ciertos grupos determinados de estrellas, a los cuales se han dado denominaciones particulares, comparándolos caprichosamente con animales o diversos objetos. Las estrellas de una misma constelación se designan con las letras de los alfabetos griego o latino.

Percíbense, además, diseminadas aquí y allá en el cielo, unas manchas difusas y blanquecinas, que se llaman *nebulosas*. Algunas afectan una forma aproximadamente esférica, pero otras son irregulares. Se las divide en *resolubles* e *irresolubles*, según que estén compuestas de estrellas distintas o parezcan formadas solamente de una materia difusa. De las 5.000 nebulosas que se conocen hoy, unas 400 se han resuelto con ayuda de poderosos anteojos; otras, en cambio, no son más que agregados de materia cósmica, como lo demuestra el análisis espectral y los cambios de forma que van experimentando en el transcurso del tiempo.

La *vía láctea*, vulgarmente llamada *camino de Santiago*, es una zona blanquecina, de anchura variable, que divide la esfera celeste en dos partes, y consiste en una inmensa nebulosa, enteramente resoluble en muchos puntos, pero que en otros permanece como una luz blanquecina, a través de la cual se pueden percibir con el telescopio una multitud de estrellas.

La profusión de las que se observan en la vía láctea ha hecho pensar que todo este conjunto afecta una forma lenticular, en cuyo centro, aproximadamente, se halla el Sol.

Los cuerpos celestes están unidos unos a otros por lazos de atracción mutua, componiendo *sistemas sidéreos*. Así, el Sol con los planetas que giran en torno de él, y entre los que figura la Tierra, los cometas y la materia cósmica, constituyen el *Mundo* o *sistema solar*.

El Sol.—Es éste una esfera cuyo radio mide, próximamente, 687.800 Km., y su volumen es 600 veces mayor que el de todos los planetas reunidos. Comparando el diámetro del Sol con el de nues-

tro planeta, el de aquél es 108 veces mayor que el de éste (1); si comparáramos la superficie de una sección central de ambos cuerpos, encontraríamos que la del Sol era 108×108 mayor que la de la Tierra; y, finalmente, si la comparación se estableciera por los volúmenes, el Sol resultaría $108 \times 108 \times 108$ más grande, de modo que, para formar un cuerpo del volumen del Sol, sería necesario soldar en una masa única 1.300.000 cuerpos del tamaño de la Tierra (2).

La densidad del Sol no excede a la cuarta parte de la de nuestro planeta. Gira uniformemente de E. a O. en veinticinco días y medio, y está animado al mismo tiempo de un movimiento propio, a través del espacio, en el que arrastra a todo el sistema de planetas y satélites que forman su cortejo.

Es el centro de atracción que mantiene en sus órbitas todos los cuerpos celestes que componen el sistema solar, los cuales giran a su alrededor en virtud de la gravitación universal, por razón de la enorme masa de materia que le constituye. Es al mismo tiempo el foco de calor y de luz de todo el sistema; así, por lo tocante a la Tierra, tanto los movimientos atmosféricos como los de las aguas, el desarrollo de la vegetación, la vida de los animales, en una palabra, cuantos fenómenos fisiológicos o físicos tienen lugar en la superficie de nuestro planeta, son debidos a la influencia de las radiaciones solares, y, como lo ha dicho el P. Secchi, con gran verdad y elocuencia, este trabajo que el Sol realiza en nuestros días viene realizándole del mismo modo innumerables siglos antes de la creación del hombre; los vegetales que se han desarrollado en ciertos periodos geológicos fueron transformados por la acción del tiempo en carbón de piedra o lignito, y cuando quemamos estos cuerpos, ponemos en libertad la fuerza que les fué comunicada en otro tiempo por el Sol (3).

Examinado con un antejo provisto de un vidrio fuertemente teñido, ofrece el Sol el aspecto de un disco brillante salpicado de una infinidad de granulaciones luminosas o *fáculas* y pequeños intersticios negros llamados *poros*. Frecuentemente aparecen en la superficie del astro manchas más o menos opacas, variables tanto por su forma como por su extensión, y que están constituidas por un núcleo obscuro rodeado de una parte más clara. Se han observado algunas cuya longitud era igual, próximamente, a cinco veces el diámetro terrestre. En ocasiones, una mancha se segmenta, dando lugar a otras varias. Generalmente, su duración no pasa de cinco a seis semanas.

(1) Si supusiéramos el centro de la Tierra coincidiendo con el del Sol como el de dos esferas concéntricas, manteniéndose la Luna a la distancia que está de la Tierra, quedaría englobada en la masa del Sol próximamente a la mitad del radio de éste.

(2) Dista de la Tierra más de 148.000.000 de Km., distancia de que puede darse idea por la comparación usada por sir John Herschel, el cual dice que una bala de 100 libras de un cañón Armstrong que está animada a su salida de la velocidad de 400 m. por segundo, tardaría en llegar al Sol, siempre que conservara su velocidad inicial, trece años.

(3) P. A. Secchi: *Le Soleil*, Paris, 1870, pág. 300.

Vense, además, en la superficie del Sol *protuberancias*, que no son sino inmensos surtidores de llamas de color rosado y de forma variada, que se lanzan por encima del disco en todas direcciones y que a veces se elevan a más de 50.000 Km. sobre la superficie del astro.

Para explicar los fenómenos que presenta la superficie del Sol, admitió W. Herschel que estaba constituido por un núcleo sólido y obscuro, rodeado de dos atmósferas superpuestas: una semejante a una capa de nubes y opaca, y sobre ella otra, llamada *fotosfera*, que emite la luz y el calor. Pero los descubrimientos posteriores, realizados por medio del análisis espectral, han probado que la luz deslumbradora de la fotosfera es debida a partículas incandescentes de diversos metales volatilizados por el excesivo calor central, y esto prueba que no existe el supuesto núcleo sólido. Los físicos consideran hoy al Sol como una masa continua de gases y vapores que se hallan a una temperatura tan elevada, que es capaz de volatilizar los metales más refractarios. Las capas externas se enfrían por radiación, y los vapores metálicos se condensan en estado de gotitas incandescentes, que constituyen la fotosfera; estas gotitas caen como una especie de lluvia sobre las capas inferiores, donde se transforman nuevamente en vapor, originando así una serie de corrientes incesantes en la masa del astro, reveladas también por el análisis espectral.

La naturaleza de las manchas no ha obtenido aún una explicación aceptada por todos los astrónomos; pero parece probable la de Faye, según el cual, serían debidas a torbellinos análogos a los que engendran las trombas y los ciclones de nuestra atmósfera.

Aparece la fotosfera como una superficie brillante, por encima de la cual se halla una capa gaseosa de color sonrosado, relativamente delgada y completamente diáfana, a la cual se ha llamado *cromosfera*. Sobre ella se elevan las protuberancias de que antes hablábamos, que son surtidores de hidrógeno incandescente, mezclado en su base con vapores metálicos que han atravesado la fotosfera. Además, envuelve al Sol una especie de atmósfera tenue, poco brillante, que aparece en los eclipses totales como una aureola, llamada *corona*, de un espesor de 500.000 Km.

Por medio del análisis espectral se ha reconocido en el Sol la presencia de una veintena de cuerpos simples: hidrógeno, hierro, cobre, níquel, sodio, magnesio, bario, calcio, etc., y uno desconocido en la Tierra hasta hace poco, llamado *helio*; pero que recientemente ha sido reconocido en ésta, aunque con suma escasez.

Con el nombre de *luz zodiacal* se designa una débil luminosidad análoga a la vía láctea, que se percibe al O., por la tarde, después del fin del crepúsculo, y al E., al amanecer, trazando en la bóveda celeste una especie de huso. En las regiones intertropicales se percibe todo el año, siempre que esté despejado el cielo y que la Luna no ilumine el horizonte, y en nuestros climas, sólo durante los equinoccios de primavera, por la tarde, y de otoño, por la mañana.

Los astrónomos han tratado de explicar de diversos modos este fenómeno, atribuyéndole algunos a una especie de atmósfera lenticular que rodearía al Sol en el sentido del plano de la eclíptica y que se extendería a una inmensa distancia.

Los planetas.—A diferencia de las estrellas, estos astros son cuerpos no luminosos por sí mismos, que giran en torno del Sol, describiendo órbitas elípticas y generalmente poco excéntricas. Se distinguen de éstas por la falta de centelleo, por su cambio de lugar entre aquéllas y, vistos con un anteojo, por su forma de disco, cuyo diámetro crece con el poder amplificante del instrumento, al paso que las estrellas nunca aparecen más que como puntos brillantes.

Alrededor de los planetas giran otros planetas secundarios, que se denominan *satélites*.

Se conocen ocho planetas principales, que son, en el orden de su distancia al Sol:

Mercurio, rara vez visible, a causa de permanecer siempre próximo al Sol; su revolución sideral dura unos 88 días; su volumen y su distancia al Sol es de 0,4, tomando por unidad la de nuestro planeta. Su densidad es de 6,84, comparada con la del agua, y 1,4 con la terrestre. Está rodeado de una atmósfera más densa que la de los planetas próximos a él.

Venus, llamado *lucero de la mañana* o *de la tarde*, cuyo brillo aparece más intenso que el de todas las estrellas; su volumen es casi igual al de la Tierra; su distancia media al Sol, de 0,72, y su densidad, comparada con la terrestre, 0,89. Se halla rodeado de una atmósfera de composición análoga a la de nuestro globo, según revela el espectroscopio, bastante grande para ocasionar un crepúsculo bien apreciable; en ella existe también vapor de agua, que origina nubes. Se observan en este planeta montañas más elevadas, proporcionalmente, que las del nuestro.

La *Tierra*, de que luego hablaremos más en particular, con su satélite la *Luna*. Es esta última un globo esférico que realiza su revolución en el mismo tiempo que su rotación, por lo que nos presenta siempre un solo hemisferio, sin que podamos nunca ver el opuesto; su volumen es muy considerable relativamente al planeta que escolta. La distancia media es de 60 veces el radio terrestre; su radio, igual a las $\frac{3}{11}$ partes del de la Tierra, y su volumen, $\frac{1}{50}$, próximamente.

De todos los satélites, el nuestro es el único visible sin el auxilio de medios amplificantes. Carece de atmósfera. Si la tuviera, no aparecería bruscamente separada la parte oscura de la iluminada, y el crepúsculo haría insensible el tránsito de una a otra; además, por efecto de la refracción, las estrellas, al ocultarse tras este globo, no desaparecerían súbitamente ni reaparecerían del mismo modo. No existe tampoco, por lo mismo, agua en su superficie; porque, si la hubiera, pasaría inmediatamente al estado de vapor, faltándole la presión exterior. La ausencia de atmósfera hace que no haya luz difusa y que el paso de la noche al día y del frío al calor se

realice sin transición y de un modo brusco, siendo visibles las estrellas en pleno día desde la superficie lunar.

Tiene la Luna montañas numerosas y más elevadas que las de nuestro globo, formando circos muy extensos, pero no cordilleras alineadas. Entre éstas hay depresiones, llamadas impropriamente mares, que son las manchas más o menos sombreadas que se divisan a simple vista.

Marte: es un planeta de primera magnitud y el que ofrece más semejanza con nuestro globo. Se distingue por su roja brillantez, distando del Sol vez y media más que la Tierra; su revolución sideral dura unos 686 días; la rotación, $24^h 37^m$, y su volumen es de 0,15, comparado con el de aquélla. Su densidad es 0,7. Hacia los polos de este planeta se ven partes blancas, cuyo volumen disminuye o aumenta según que estén o no vueltas del lado del Sol, por lo que se ha supuesto que están formadas por hielos análogos a los que cubren los polos terrestres. Se cree que rodea a Marte una atmósfera menos densa que la de otros planetas, puesto que permite ver a su través los continentes mejor que la de Venus; en ella aparecen manchas blancas, como nubes, y hasta torbellinos espirales, producidos, sin duda, por grandes borrascas. Le escoltan dos satélites; tan pequeños, que sólo miden 10 y 12 Km. de diámetro, respectivamente.

Planetas telescópicos, o sea zona de asteroides, que en número de unos 600 existen entre Marte y Júpiter, y de tan reducido tamaño, que la superficie de algunos no llega a la de una provincia de España; ninguno de ellos alcanza el volumen de la Luna. Las órbitas de estos pequeños planetas están muy inclinadas sobre la eclíptica.

Júpiter: aparece como una hermosa estrella de primera magnitud.

Fig. 1.^a—Diámetros comparados del Sol y los planetas, colocados éstos por sus distancias al primero. La faja en que están incluidos representa el diámetro del Sol.



Neptuno.

Urano.

Saturno.

Júpiter.

Asteroides.

Marte.

Tierra.

Venus.

Mercurio.

Obsérvanse en su superficie bandas de nubes, que indican se halla rodeado de una atmósfera, pero de constitución diferente a la de la Tierra. Su distancia al Sol es de 5,20; efectúa su revolución sideral en 12 años, es decir, que el año de Júpiter equivale a 12 de los nuestros, y la diurna, en $9^h 55^m$; está notablemente achatado por los polos, lo que se explica por su rápida rotación, que es dos veces y media la de la Tierra, y como su diámetro es once veces mayor que el de ésta, resulta que cada punto situado en el ecuador de Júpiter está animado de una velocidad de más de 12 Km. por segundo. Su volumen es 1.500 veces el de la Tierra, y su densidad excede apenas a la del agua. Está seguido de ocho satélites no perceptibles a la simple vista, pero sí cinco de ellos, al menos, por medio de un anteojo ordinario de larga vista.

Saturno: también aparece como una estrella de primera magnitud, aunque más pálido que Júpiter, y es el más grande de todos los planetas después de éste. Su distancia al Sol es de 9,5; su revolución sideral dura algo más de 29 años, y su rotación, $10^h 14^m$; su volumen es cerca de 720 veces el de la Tierra, y, en cambio, su densidad es poco mayor que la mitad de la del agua. El espectroscopio acusa la existencia de una atmósfera saturada de vapor acuoso. Hállase rodeado de un anillo, situado próximamente en el plano de su ecuador y no perceptible a la simple vista, anillo de débil espesor, dividido en dos partes concéntricas desiguales, separadas por una línea obscura. Este planeta tiene diez satélites, todos ellos exteriores al anillo, de los que uno es mayor que Marte y gira alrededor del planeta en $10^h 30^m$.

Urano: es rara vez perceptible a la simple vista, su distancia es 19, su revolución se efectúa en 84 años, su volumen es unas 70 veces el de la Tierra, y su densidad, apenas igual a la del agua. Tiene cuatro satélites, que se mueven en sentido retrógrado.

Neptuno: el planeta más lejano de nuestro sistema, jamás es perceptible a la simple vista. Su distancia al Sol es 30, y su volumen, 55 veces el de la Tierra. Su revolución sideral dura unos 165 años. Su densidad media es de 0,28. No se le conoce más que un satélite, dotado de un movimiento retrógrado, como los de Urano.

Comparando la Tierra con los demás planetas, se ve que no es ni el mayor ni el menor del sistema, ni el más cercano ni el más alejado del Sol, ni ocupa tampoco la región media del conjunto. Las observaciones sobre sus compañeros más próximos muestran que se parece notablemente a Venus y Marte, con quienes tiene una historia común.

Cometas y estrellas fugaces.—Los cometas son cuerpos celestes que describen en torno del Sol órbitas generalmente muy prolongadas y acompañados casi siempre de una ráfaga luminosa. Presentan, por lo común, hacia su extremidad que mira al Sol una parte más brillante, llamada *núcleo*, rodeada de una nebulosidad o *cabellera*; a ésta sigue, en dirección opuesta a la del Sol, una banda o *cola*, cuyo brillo va en disminución. El núcleo y la cabellera for-

man la *cabeza* del cometa. Los hay, sin embargo, desprovistos de cola y aun de cabellera, y entonces se asemejan, por su aspecto, a un planeta, y también otros que están constituidos, al parecer, tan sólo por la cola, teniendo el aspecto de una nebulosa.

Aparecen los cometas en el cielo como una nebulosidad redondeada, visible al principio sólo con ayuda de un anteojo, que se va volviendo más brillante a medida que se acercan al Sol, prolongándose en sentido opuesto a éste y tomando la cola dimensiones cada vez más considerables, concluyendo por desvanecerse todo el cometa en poco tiempo por la región opuesta a aquella de que procedió.

Su materia se halla en un estado de rarefacción tal, que a su través se perciben perfectamente las estrellas, de modo que deben ser mucho menos densos que la más ligera niebla. Esto contrasta con el espesor y dimensiones tan considerables de estos cuerpos, de los cuales sólo la cabellera del cometa de 1811, para citar un ejemplo, tenía un diámetro de cerca de dos millones de kilómetros. Su espectro indica que se hallan en estado ultragaseoso e incandescente y que en su composición entra el carbono.

Las *estrellas fugaces* (vulgarmente llamadas, en algunas regiones de la Península, lágrimas de San Lorenzo) consisten en puntos brillantes que describen una trayectoria luminosa de extensión variable y que se desvanecen rápidamente algunos segundos después de su aparición. Se ha admitido que el espacio interplanetario está sembrado de infinitos cuerpecillos sólidos que circulan alrededor del Sol y forman anillos elípticos en diversas regiones, los cuales, al ser atravesados por la Tierra, hacen visibles sus corpúsculos, porque su rozamiento con la atmósfera produce su incandescencia. Schiaparelli piensa, fundado en la periodicidad de las épocas en que abundan estas apariciones, que aquella explicación no es la verdadera, sino que las estrellas fugaces y los cometas reconocen un mismo origen, hipótesis que comprueba la comparación de los espectros de ambos cuerpos celestes.

Bóolidos y meteoritos.—Al modo como las estrellas fugaces, pero animados de un movimiento más lento, aparecen y desaparecen de un modo súbito unos cuerpos luminosos, que frecuentemente estallan con gran estruendo dentro de la atmósfera. Tales son los *bóolidos*, y los pedazos que caen al suelo después de la explosión, que se denominan *meteoritos*.

El tamaño de estas piedras es variable: la mayor que se conoce es una encontrada en Santa Catalina, en el Brasil, que pesa 25.000 kilogramos; pero esto es excepcional, pues los fragmentos de que se trata son casi siempre pequeños. En Madrid estalló en la mañana del 10 de febrero de 1896 un bólido, produciendo una de las mayores explosiones, si no la mayor, de que se tiene noticia; pero fueron escasos los meteoritos que de él se hallaron, y éstos, de pequeñas dimensiones.

Oportunamente daremos más detalles sobre la composición qui-

mica y mineralógica de estas piedras extraterrestres; por ahora nos bastará saber que contienen hierro, silicio, níquel, magnesio, calcio, sodio, potasio, etc.

Las circunstancias que acompañan a la caída de los meteoritos, la estructura de éstos y los detalles de su composición prueban que dichos cuerpos son de procedencia extraterrestre, contrariamente a lo que los antiguos creyeron, atribuyéndolos a productos de condensación de materias en las altas regiones de la atmósfera, por lo que les dieron el nombre de *aerolitos*, ya desusado.

Unidad de composición del Universo.—Desde la más lejana antigüedad se han imaginado hipótesis encaminadas a explicar el origen del Universo, si bien carecían aquéllas de valor científico. En los tiempos modernos, Kant, Herschel y Laplace son los primeros iniciadores de teorías verdaderamente serias, fundadas en la universalidad de las leyes mecánicas a que obedecen los movimientos de los astros.

La Química ha proporcionado después un nuevo elemento para la resolución de problema de tanta trascendencia y del principio fundamental de la unidad de composición de los mundos por el análisis espectroscópico, y la Geología ha llegado a las mismas consecuencias por el estudio de los meteoritos, los cuales se ha visto que no poseen ningún elemento químico que no tenga representación en la Tierra, todo lo cual prueba la existencia de importantes factores comunes a los astros, sin excepción, incluso nuestro globo.

Por lo que se refiere a la formación del mundo solar, la unidad de origen del astro central y sus satélites se apoya sobre hechos perfectamente esclarecidos. Así, en punto a la configuración de los cuerpos celestes, se sabe la ley mecánica a que en todos ha obedecido, la cual puede formularse diciendo que toda materia fluida, libre de las atracciones exteriores, acepta la forma esférica; y si gira alrededor de uno de sus diámetros va aumentando de volumen en el ecuador y achatándose proporcionalmente en los polos.

Continuando la rotación y creciendo, por consiguiente, cada vez más la velocidad de la zona ecuatorial, acaba por desprenderse de ella un anillo, al que suceden luego otro y otros, a menos que la masa adquiriera consistencia suficiente para contrarrestar la fuerza centrífuga. Fenómenos semejantes pudieron realizarse en la nebulosa solar primitiva, que se extendería más allá de la zona de las órbitas de los planetas conocidos y que estaría constituida por un conjunto considerable de materias en estado fluido, por efecto de una elevadísima temperatura, y animada de un movimiento giratorio alrededor de su centro. De ella se desprenderían anillos cuya falta de homogeneidad determinaría su ruptura, uniéndose después sus fragmentos en una esfera única en virtud de la fuerza de atracción, y estas masas quedarían animadas de un movimiento de rotación sobre uno de sus diámetros, y de otro de traslación alrededor del núcleo central. Así se ha tratado de ex-

plicar el origen de los planetas, y por desprendimientos de éstos, durante el tiempo en que permanecieron fluidos, el de los satélites que les escoltan, siendo en esta hipótesis el anillo de Saturno un satélite en vías de formación. La concentración de la masa central de la nebulosa primitiva constituiría el Sol, centro de todo el sistema planetario.

La teoría del insigne astrónomo Laplace a que acabamos de referirnos, que parecía confirmada por el ingenioso y bien conocido experimento de Plateau (1), y que ha dominado en la Ciencia por tan largo tiempo, ha sido, sin embargo, impugnada, por no dar explicación de ciertos fenómenos celestes, y sustituida por otras teorías, cuya exposición no es propia de este libro; de ellas resulta confirmado que la materia esparcida en forma de nebulosas, estrellas, planetas, etc., en todo el Universo obedece a un plan único de evolución, y es substancialmente la misma.

IV

LA TIERRA COMO CUERPO ASTRONÓMICO

Forma y tamaño de la Tierra.—Todo el mundo sabe hoy que la Tierra es un esferoide, y, sin embargo, durante muchos siglos se ha creído que tenía forma plana, necesitándose de la prueba proporcionada por los viajes de circunnavegación para que se generalizara la creencia de la esfericidad del globo.

El marino español Sebastián Elcano, en 1522, fué el primero que dió la vuelta al mundo, habiendo partido de Sevilla y regresando a ella en redondo, empresa la más grande que ha realizado la especie humana.

Pruebas sencillas de la redondez de la Tierra se dan en todos los manuales de Geografía, además de la de la posibilidad de los viajes de circunnavegación, y la observación vulgar que puede hacerse desde las costas respecto a la manera cómo van perdiéndose de vista los barcos que se alejan de tierra; desapareciendo primero el casco, que es lo que por su mayor volumen debiera percibirse mucho tiempo después de borrarse las velas, de navegar el barco por una superficie plana. Hay otros muchos medios de comprobar lo mismo. Una persona situada en medio de una gran llanura, sin que obstáculo alguno se oponga a que dirija su mirada a su alrededor, podrá observar que el límite de su visión es el mismo en todas direcciones y que determina una circunferencia: dicho límite constituye lo que se llama el *horizonte*; lo mismo ocurre

(1) Plateau, colocando una gota de aceite en una mezcla de agua y alcohol que tenía la misma densidad que el aceite, vió que la gota se agrupa en una masa perfectamente esférica, y haciéndola girar por medio de una aguja que la atravesase por el centro, se achata, abultándose en el ecuador, del que llega a desprenderse una parte del aceite para formar un anillo alrededor de la masa principal, y concluye por agruparse en una esfera dotada siempre del mismo movimiento que el anillo.

al que se encuentra en el mar sin tierras a la vista. Pero el campo percibido crece a medida que el observador asciende por las vertientes de una montaña; pues desde la cúspide de ésta es mucho mayor el terreno que se descubre, y objetos que antes se hallaban fuera del alcance de su vista, son entonces percibidos. Del mismo modo puede demostrarse la esfericidad del globo por la observación de los astros. Si la Tierra fuera plana, desde cualquier punto de ella veríamos las mismas constelaciones. Supongamos, por el contrario, que es esférica y que se encuentra suspendida en medio del espacio; un observador situado en cualquier parte de ella podrá apreciar que los astros que tachonan la llamada bóveda celeste están colocados a mayor o menor altura sobre el horizonte (1) y que ésta varía según la dirección en que aquél camine. Así, por ejemplo, la altura aparente de la estrella polar, que, como es sabido, se encuentra muy próxima al polo Norte del Mundo, es decir, su altura sobre el horizonte será cada vez mayor para el que se dirija hacia el N., y llegaría a estar casi en el cenit de dicho observador si le fuera posible llegar al mismo polo, mientras que, marchando hacia el S., dicha estrella parecería descender hasta tocar con el horizonte cuando el viajero llegara a estar situado en el ecuador, dejando de ser visible para el mismo si continuaba avanzando hacia el S., y como la estrella no ha variado de posición, es evidente que las diferencias a que nos referimos son debidas al cambio de lugar del observador, y son prueba de que la Tierra es convexa, por lo menos en la dirección de N. a S.; mas si nuestro viajero, desde el punto de la primera observación, hubiese caminado en dirección de E. a O., no hubiese notado variación en cuanto a la altura de la estrella polar; pero al dirigirse hacia el E., hubiese observado que se aceleraba la salida del Sol, así como su puesta, y que, por el contrario, se retardaba caminando hacia el O., siempre con relación a la salida y puesta del astro en el sitio de donde partió, hechos que son también una prueba de que la superficie terrestre es curva en el sentido indicado y, por consiguiente, de que la Tierra es esférica. Este resultado obliga a los ingenieros y geómetras a tener en cuenta el encorvamiento de la superficie terrestre en sus cálculos, cuando se trata de levantar planos de un territorio extenso, medida de arcos de meridiano,

(1) El punto del cielo que está encima de la cabeza del observador se llama *cenit*, y el opuesto que se halla a sus pies, pero que no puede ver, por interponerse toda la masa de la Tierra, es el *nadir*; la línea recta que une ambos puntos es la dirección de la plomada, o sea el vertical, y el plano imaginario perpendicular a ella y que pasa a igual distancia entre aquellos puntos será el *horizonte racional*, que no hay que confundir con el *horizonte aparente o sensible*, de que antes hablábamos, que es el círculo que limita la visión de una persona en cualquier punto de la Tierra, y que está formado por la superficie de ésta. El horizonte racional es un círculo máximo imaginario que divide la esfera celeste en dos hemisferios iguales. A pesar de la diferencia indicada, estos dos horizontes puede decirse que coinciden el uno con el otro, pues si prolongamos el horizonte visual hasta encontrar la esfera celeste, formará un plano paralelo al del horizonte racional, y podremos considerar su diferencia como anulada en comparación de la inmensa distancia a que se encuentran las estrellas.

apertura de canales, etc. M. Wallace, en 1870, hizo en Bedford un experimento conducente a probar la redondez del globo. Colocó tres jalones flotantes a 4 m. de altura sobre el nivel del agua y espaciados cerca de 5 Km. uno de otro; observando después con un anteojo de manera que el rayo visual pasase por el punto de mira del primero y del último, resultó que el del jalón intermedio estaba colocado 1,50 m. por encima del rayo visual (1).

Newton demostró que, en realidad, la forma de la Tierra es la de un esferoide achatado y no la de un globo perfectamente esférico, principio comprobado después por numerosos cálculos y medidas. Hoy se admiten, con arreglo a los valores obtenidos por Faye, como las más aproximadas a la realidad, las cifras siguientes:

Radio ecuatorial terrestre.....	6.378.393 metros.	
— polar	6.356.549	—
<hr/>		
<i>Diferencia entre el radio ecuatorial y el polar</i>	21.844	—
<hr/>		
Circunferencia ecuatorial	40.076.625	—
Superficie en kilómetros cuadrados ..	510.082.000	—
Volumen en millones de kilómetros cúbicos. .	1.083.260	—

Resulta de aquí que el diámetro ecuatorial terrestre es, aproximadamente, 43 Km. más largo que el polar.

Además, se sabe que el aplanamiento del esferoide terrestre no es igual en ambos hemisferios y sí algo mayor en el austral, y está demostrado que el ecuador no es un círculo perfecto, sino una elipse, con una diferencia entre sus ejes de unos 4 Km., correspondiendo los extremos del eje más corto al istmo de Panamá y las islas de la Sonda, y los del mayor, a las islas Sándwich y el Congo. Estas diferencias, aunque en realidad pequeñas, obligan a adoptar una media proporcional para el radio medio de la Tierra, que se calcula en 6.366 Km.

La diferencia entre el radio ecuatorial y el polar no es tampoco de consideración, relativamente al volumen de la Tierra, pues equivaldría en un globo de un metro de diámetro ecuatorial, próximamente, a tres milímetros, lo cual sería inapreciable a simple vista. Las desigualdades de la superficie terrestre, producidas por las grandes profundidades marinas y las altas montañas, no merecen siquiera tenerse en cuenta para el cálculo anterior, porque son, en proporción, incomparablemente menores que las rugosidades que ofrece la cáscara de una naranja con respecto al diámetro de la misma.

La forma de esferoide de revolución de nuestro planeta es efecto de la rotación del globo cuando se hallaba todavía en un estado fluido o pastoso, porque corresponde, como sabemos, al aplastamiento que tomaría una esfera de substancia plástica girando alrededor

(1) Huxley: *Physiographie*.

de uno de sus ejes, reconociendo probablemente la misma causa la distribución de las grandes masas de mares y tierras en la superficie de nuestro planeta.

Los geólogos se han preocupado de inquirir el carácter y circunstancias que ofreciera la primera superficie que se consolidó en el globo: nos referimos a si fué lisa o rugosa, si presentaba o no vestigios, por lo menos, de las profundidades oceánicas y de las elevaciones continentales. Muchas veces se ha dicho que la primitiva superficie fué lisa, y que el mar cubrió entonces uniformemente todo el globo. Sin embargo, parece más probable que sólo después de muchas arrugas y roturas sucesivas pudiese llegar a adquirir alguna estabilidad la superficie del planeta, y que se consolidaría, por tanto, fruncida y aun cuarteada, al modo como está la de la Luna, que es, sin duda, la costra de primera consolidación, a la que no cubre ningún sedimento. Tampoco es probable la hipótesis del primitivo océano universal, y, al contrario, el predominio de las aguas en el hemisferio Sur parece indicar en aquél un exceso de densidad que no es atribuible a un cambio de posición de los materiales del interior, sino tan antiguo como la misma condensación, en la superficie de la Tierra, del agua antes interpuesta en su atmósfera.

La dimensión superficial de nuestro globo se estima en 510 millones de kilómetros cuadrados, en cifra redonda, de los cuales 375 corresponden a los mares, y el resto, a la tierra firme.

Forma de la parte sólida del globo.—Aunque, como hemos visto, el conjunto de las partes líquida y sólida del globo resulta esférico, si se toma sólo en consideración la porción sólida, llamada corteza terrestre, su figura corresponde a una pirámide de base triangular o *tetraedro*, como demostró Green hace unos treinta años. El esquema adjunto (fig. 2.^a) representa este poliedro sumergido en parte en una esfera concéntrica. Una de sus puntas salientes se encuentran en el polo Sur, asiento, como se sabe, de un vasto continente y de altas montañas, y las tres puntas restantes están situadas en el hemisferio Norte, hallándose

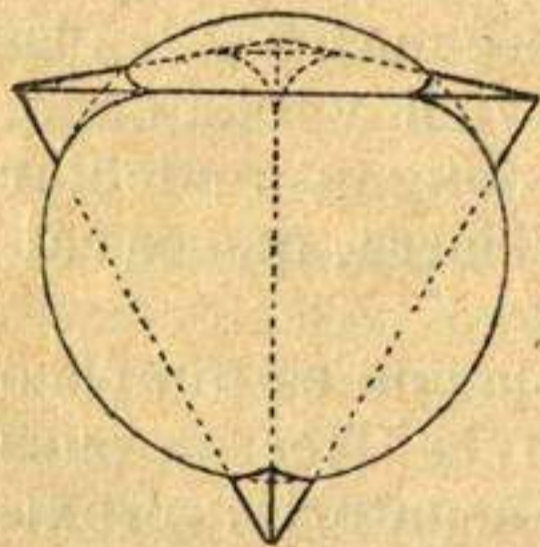


Fig. 2.^a

formadas por los macizos de los Alpes, del Himalaya y de las Montañas Rocosas. Las caras de la pirámide opuestas a los cuatro vértices están ocupadas por los océanos Boreal, Pacífico, Atlántico e Indico.

Círculos y líneas de la esfera terrestre.—Se admite en la Tierra, como en los demás globos, una línea imaginaria o *eje* en torno del cual gira sobre sí misma. Los dos extremos de esta línea, o sea los puntos de su intersección con la superficie terrestre, son los *polos*: boreal, ártico o Norte el uno, y austral, antártico o Sur, su opuesto. A igual distancia de ellos, el *ecuador*, círculo máximo, también imaginario, divide a la Tierra en dos mitades o *hemisferios*. Una se-

rie de círculos menores *paralelos* al ecuador, y que por eso se llaman así, y otra serie de círculos máximos perpendiculares a éstos, o sean los *meridianos*, dividen por su intersección toda la superficie del globo en espacios trapezoidales, permitiendo determinar la posición en ella de cualquier lugar, o de un buque que navega por el mar. También se designa con el nombre de *meridiano* de un punto de la superficie de la Tierra el semicírculo que pasa por aquel punto y por los polos, llamándose *antimeridiano* al semicírculo opuesto.

La determinación de un punto cualquiera sobre la superficie de la Tierra se obtiene mediante la *latitud* y la *longitud* del mismo. Se llama latitud la distancia que le separa del ecuador, medida sobre el arco del meridiano que pasa por aquél (1), y que, como desde luego se comprende, podrá ser septentrional o meridional, según que el lugar se halle situado en el hemisferio boreal o en el austral. La longitud es la distancia que le separa del meridiano que pasa por otro punto fijo elegido para este género de referencias, y medida por el arco del ecuador comprendido entre los meridianos de ambos puntos, pudiendo ser oriental y occidental, según la posición del punto cuya longitud se trata de determinar con relación al punto fijo, o en otros términos, según se cuente al Oriente o al Occidente de éste, llegándose en cada sentido hasta los 180°.

Para completar la exposición de las líneas que se ha convenido en reconocer en la Tierra, resta añadir que a cada lado del ecuador, y a 23° 27' del mismo, se admite un círculo paralelo a aquél, que recibe el nombre de *trópico de Cáncer* en el hemisferio boreal, y *trópico de Capricornio* en el austral, y que a igual distancia de los polos se admiten otros círculos llamados *polares* (*ártico* y *antártico*).

Densidad.—La densidad de la Tierra, calculada por el procedimiento de la desviación vertical, por el de las oscilaciones del péndulo y por el de la balanza de torsión, viene a ser, próximamente, 5,5. Ya veremos que esta elevada cifra, muy superior a la de la densidad media de todas las rocas, se ha explicado suponiendo una gran zona de metales pesados en el interior del globo.

Movimientos de la Tierra.—Son los principales el de revolución alrededor del Sol, o movimiento anual, y el de rotación o diurno, que realiza en 24 horas; pero, además, la Tierra experimenta a la par otros movimientos lentos, que ejercen, sin embargo, importante influencia geológica en el transcurso de los tiempos.

La velocidad del movimiento diurno o de rotación de la Tierra es fácil de calcular aproximadamente, sabiendo que la circunferen-

(1) Como es sabido, todo círculo se divide en 360 partes iguales o *grados*, los que a su vez se dividen en minutos, y éstos, en segundos. Los grados de latitud se empiezan a contar desde el ecuador, en el que se coloca el 0, de modo que ningún punto podrá estar situado a más de 90° de latitud, y a esta distancia se encontrarán los polos, siendo la latitud septentrional para el uno y meridional para el otro. Cada grado mide 60 millas marinas de 1.852 m., o sean 20 leguas de 5 Km. 555 m.

La latitud de un lugar se averigua, entre otros medios, por la altura del polo, a la que es igual, y que puede tomarse por la observación de la estrella polar, teniendo en cuenta que ésta no se encuentra en el mismo polo, sino muy próxima a él, y la longitud, por la diferencia de horas entre el lugar de que se trata y el del primer meridiano, o sea el de referencia.

cia ecuatorial es de 40.000 Km. y que se verifica una revolución completa en 24 horas (1); cada punto del ecuador describe, por tanto, diariamente una curva de la longitud expresada, para lo cual ha de estar animado de una velocidad de 1.600 Km. por hora, o sea unos 430 m. por segundo; pero esta velocidad no es igual para todos los puntos de la superficie terrestre, pues siendo ésta esférica, variará en cada paralelo, decreciendo hacia los polos, en los que se anula.

El movimiento diurno del globo explica, además de la sucesión de los días y las noches, una porción de fenómenos de grande importancia; así, por ejemplo, la atmósfera, de que más tarde hablaremos, que es una envoltura gaseosa que rodea por todas partes a la Tierra, participa de sus movimientos, siendo arrastrada en el de rotación con la velocidad correspondiente a los puntos de la superficie terrestre sobre los que se encuentra: permanece inmóvil en los polos, y a partir de ellos se anima de una velocidad creciente, que llega en el ecuador a la indicada para los puntos que ocupan esta región. Toda corriente de aire que desde los polos se dirija hacia el ecuador, o de éste hacia los polos, producirá una perturbación, más o menos considerable, en la atmósfera, que dará lugar a vientos determinados. Supongamos que la corriente de aire procediera del polo y que pudiera llegar sin obstáculo hasta el ecuador, en el que descendiera hasta ponerse en contacto con la superficie del suelo: como en el polo el movimiento de rotación es nulo, los parajes situados en el ecuador chocarían contra dicha corriente, lo que para los habitantes de estos puntos produciría el efecto de un huracán animado de la enorme velocidad de 460 m. por segundo, del mismo modo que el que viaja en un tren marchando a razón de 70 Km. por hora en medio de un aire tranquilo siente soplar el viento que parece venir del punto a que el tren se dirige; pero las corrientes procedentes de los polos se modifican por la influencia del movimiento de rotación de la atmósfera, que las va obligando a cambiar de dirección hacia el E, con tanta más rapidez cuanto más se aproximan al ecuador, y como consecuencia de estos dos movimientos combinados, el del N. y el del E., el viento a que nos referimos parecerá venir del NE. y no del N., que es de donde realmente procede.

El ejemplo expuesto puede servir de explicación para vientos que, como los alisios, corren en una dirección casi constante, que es la del NE. en la zona tropical del N., y la del SE. en la del S., vientos que eran de gran importancia para la navegación antes del descubrimiento de los buques de vapor, por lo que en Inglaterra llevan el nombre de *vientos del comercio* (*Trade Winds*). Como en el ecuador el calor es más considerable y la evaporación más rápida, se eleva una corriente atmosférica caliente y húmeda, que hace se precipite hacia el mismo el aire más frío y denso de las regio-

1 (1) 23 horas, 56 minutos y 4 segundos.

nes situadas al N. y al S. de él; pero estos vientos cambian su dirección por la causa expresada y dejan de ser vientos N. y S. para transformarse, respectivamente, en NE. y SE., que soplan sobre las regiones del océano Atlántico y del Pacífico, extendidas a cierta distancia a ambos lados del ecuador.

Como se ve por el ejemplo citado, el movimiento diurno de la Tierra es causa de movimientos determinados en la atmósfera y, por consiguiente, influye de un modo poderoso en la distribución de las corrientes atmosféricas. Al mismo se debe el giro aparente de los astros; la salida del Sol por el E. y su puesta por el O. es un efecto óptico de dicho movimiento, comparable en un todo con el que nos produce la ilusión de que los árboles corren en dirección contraria a la del tren que nos arrastra y que nos parece no cambia de lugar.

La revolución o movimiento de Occidente a Oriente que la Tierra lleva a cabo en 365 días alrededor del Sol no se verifica describiendo un círculo perfecto, sino una órbita elíptica, en la cual el Sol ocupa uno de los focos (1). La distancia máxima o *afélica* de nuestro planeta al centro del sistema (principio de julio) es de 151 millones de kilómetros, y la mínima o *perihélica* (principio de enero) de 146 millones. La distancia media entre los dos astros es de 148 millones de kilómetros, próximamente; pero esta cifra no es invariable en el transcurso de los tiempos, sino que, por efecto de cambios lentos y seculares, la forma de la órbita terrestre se aleja y se aproxima alternativamente a la circular, mediando un intervalo de tiempo inmenso entre sus dos formas extremas. La última excentricidad máxima tuvo lugar hace unos 200.000 años, y la precedente, medio millón de años antes. Bien se comprende que no ha de ser igual la cantidad de calor que reciba nuestro globo en cada uno de los casos citados, y que esto ha de ejercer considerable influencia en los climas terrestres.

El eje de la Tierra no es normal al plano de la eclíptica (2), o sea del círculo que el Sol parece recorrer en su movimiento anual aparente, a lo que se debe la desigual duración de los días y las noches en los distintos puntos de la superficie del globo. El ángulo que forma el plano del ecuador terrestre con el de la eclíptica es de 23,27', en virtud del cual cada uno de los hemisferios de la Tierra mira al Sol y se vuelve alternativamente contra él en el espacio de un año, dando esto también lugar a las estaciones.

En virtud de dicha oblicuidad, la eclíptica corta al ecuador en dos puntos opuestos, llamados *equinocciales*, porque cuando el Sol se

(1) Como es sabido, el *año solar*, que es el tiempo que la Tierra tarda en volver a un mismo solsticio o equinoccio, es de 365 días, 5 horas, 48 minutos y otros tantos segundos; diferenciándose del *año lunar*, o sea del transcurrido entre 12 lunaciones, que es sólo de 354, en 11 días. Por *año sideral* se entiende el tiempo que emplea la Tierra en recorrer su órbita, tomando una estrella por punto de partida; se compone de 365 días, 5 horas, 48 minutos y 46 segundos.

(2) Este nombre proviene de que para verificarse los *eclipses* es necesario que la Luna se encuentre sobre esta órbita o en su proximidad.

halla sobre ellos, son iguales los días y las noches para todo el globo, como constantemente sucedería si el plano del ecuador coincidiera con el de la eclíptica. A partir del *equinoccio* que tiene lugar hacia el 20 de marzo, y que es el de primavera para el hemisferio boreal, llamado también *punto vernal*, el Sol avanza sobre dicho hemisferio, creciendo los días para el mismo, hasta que hacia el 21 de junio llega al trópico de Cáncer, que es el *solsticio* de verano, y en el que los días son mayores para nosotros; desde él desciende de nuevo el Sol hacia el ecuador, hasta hallarse de nuevo sobre él por el 22 de septiembre, que es el equinoccio de otoño, pasando después sobre el otro hemisferio, hasta tocar el trópico de Capricornio, en el solsticio que para nosotros es el de invierno, y que tiene lugar el 20 ó 21 de diciembre y corresponde al día más corto del año.

De lo expuesto se deduce que los trópicos son los paralelos que pasan por los solsticios, y que hay, por consiguiente, una zona comprendida entre los dos trópicos, en la que los días son proximamente de igual longitud durante todo el año, y en la que, hallándose el Sol casi en el cenit, sus rayos caen perpendicularmente sobre la superficie, lo que es causa de que en ella la temperatura sea muy elevada y casi uniforme. Esta zona, que es la llamada *tórrida*, mide $46^{\circ} 55'$ de anchura, abarcando cerca de la mitad de la superficie de la Tierra, y está recorrida en el medio por el ecuador. Fuera de ella, y a cada lado de la misma, se extienden hasta los círculos polares dos zonas, que reciben los rayos del Sol con mayor oblicuidad sobre el horizonte, y en las que el calor es, por consiguiente, menos intenso y mayores las diferencias entre los días y las noches; esta zonas, que miden cada una de ellas $43^{\circ} 6'$ de anchura, son las llamadas *templadas*, comprendiendo una superficie que es próximamente la cuarta parte de la total terrestre, y, por fin, los casquetes polares, limitados por los círculos de este nombre forman las zonas *glaciales*, en las que, aumentadas las causas que se han indicado, la temperatura es más baja, y sus variaciones, más intensas.

Los equinoccios se adelantan todos los años $20'23''$, es decir, que se verifican antes de que llegue a encontrarse la Tierra en conjunción con el Sol y la misma estrella que en el año anterior, pareciendo como que el Sol retrograda en las constelaciones del Zodíaco (1) un grado cada 92 años; esta diferencia, que es lo que se llama *precesión de los equinoccios*, da por resultado el desplazamiento del polo; éste, que se encuentra hoy a $1^{\circ} 15'$ de la estrella polar, se irá aproximando a ella para separarse después, y dentro de 12.000 años, la estrella *Wega*, que hoy se encuentra a 51° del polo, estará tan próxima a él, que reemplazará a la estrella polar, y en 25.900 años el Sol habrá ocupado en la misma época del año todas las constelaciones del Zodíaco. Se admite que este fenómeno es

(1) Sabido es que se designa con el nombre de *Zodíaco* una zona de la esfera celeste limitada por dos circunferencias paralelas a la eclíptica, de la que distan 9° , aproximadamente. En dicha zona se verifican los movimientos de casi todos los planetas. Atraviesa las doce constelaciones llamadas signos del Zodíaco.

debido a la atracción del Sol sobre la dilatación ecuatorial de la Tierra.

El eje terrestre experimenta, además, entre otros más lentos, un movimiento cónico o de peonza, llamado de *nutación*, que se atribuye a la atracción de la Luna sobre la dilatación ecuatorial terrestre, y por el que describe cada 18 años un cono de base elíptica.

Mareas.—También es debido al movimiento de rotación de la Tierra, combinado con la atracción del Sol y de la Luna, el fenómeno conocido con el nombre de *marea*. En efecto: cada uno de aquellos cuerpos celestes tiende a atraer hacia sí las masas de agua que forman los mares de la parte de la superficie terrestre vuelta hacia ellos; atraen, además, el globo entero, tendiendo a separarle del agua que cubre la parte opuesta de la superficie terrestre. El contorno de los mares, siguiendo, por ejemplo, la dirección de un paralelo, sería, aproximadamente, circular, si no fuera por la influencia de dichos astros; pero la presencia de uno de ellos sobre un punto de aquel paralelo, elevando verticalmente la superficie del agua en aquel punto y en su opuesto, convertirán aquella curva en una elipse cuyo eje mayor corresponderá a las regiones en que la atracción sea mayor y a sus antípodas. Si el Sol y la Luna permanecieran inmóviles, es indudable que, por efecto de la rotación de la Tierra, cada lugar del Océano que ocupase el paralelo de que hablamos se levantaría dos veces al día sobre su nivel medio y otras dos descendería por bajo de él, pasando, por consiguiente, por dos mareas altas y otras dos bajas. Conviene, además, tener en cuenta que la marea lunar es de más consideración que la solar, por ser mayor la atracción que ejerce la Luna que la del Sol, a consecuencia de la mayor proximidad a la Tierra de nuestro satélite.

De lo expuesto se deduce que cuando pasen al mismo tiempo por el meridiano el Sol y la Luna, como en la Luna nueva, o cuando estén opuestos, esto es, separados por un arco de 180° , como en la Luna llena, y principalmente en el primer caso, se sumarán ambas atracciones, coincidiendo las dos mareas y produciendo un mayor movimiento en sentido vertical de los mares, dando lugar a las *mareas vivas*, mientras que en las posiciones intermedias, las dos mareas tenderán a neutralizarse, y cuando corresponda la más alta lunar con la más baja solar, la marea efectiva resultante de la diferencia entre ambas, que sucederá en el primero y tercer cuarto, dará el movimiento vertical menor posible, produciéndose las *mareas muertas*.

Cambios seculares hipotéticos de forma y movimientos terrestres.—Suponiendo la Tierra como un esferoide homogéneo dotado de una pastosidad muy pequeña, el profesor Darwin ha calculado el rozamiento producido por las mareas de la masa fluida que se admite ocupa su interior, a cuyas mareas daría lugar la acción combinada del Sol y de la Luna, y ha deducido que obrarían disminuyendo la oblicuidad de la eclíptica, y que la elipse de la figura terrestre

ha ido también disminuyendo de un modo continuo, de suerte que se elevaron las regiones polares y descendieron las ecuatoriales, cambios que no han podido dejar tras sí huellas, por sufrirlos a la par y de igual modo el Océano. El período antes indicado está comprendido indudablemente dentro de los límites de la historia geológica, y no habría dejado de tener en ésta su influencia la modificación lenta que supone la hipótesis, primero, porque las mareas oceánicas debían, según ella, ser mucho más frecuentes y amplias antiguamente, y más intensa, por consiguiente, la denudación oceánica, y luego, porque la rapidez con que se sucedían los días y las noches (cuando el año constaba de 1.300 días en vez de los 365 actuales) originaría corrientes atmosféricas enérgicas, que habrían de imprimir carácter semejante a las oceánicas.

Indicaremos, por último, que el centro de gravedad de la Tierra no parece ser estadizo. Herschel llegó a la consecuencia de que dicho centro de gravedad no coincide exactamente con el de la figura del planeta, sino que está un poco más al S. Las modificaciones que en la distribución de los materiales experimenta la superficie del globo pueden producir cambios en la posición de dicho centro, y, por tanto, en la del Océano, que se ajusta a la de aquél. El traslado del casquete de hielo del continente antártico (suponiéndole no más de 2 millas de espesor) produciría, según el Dr. Croll, un cambio de 190 pies en la situación del centro de gravedad terrestre, y la formación de una masa de hielo en las regiones árticas igual a la mitad de aquél ocasionaría una elevación del nivel del mar de más de 285 pies en el polo Norte. Además, se operaría una adición de agua a la masa del Océano a causa de la fusión del hielo, explicándose así algunas emersiones y sumersiones de las tierras polares, que la Geología ha demostrado, y que serían, en último término, producidas por los cambios de posición del centro de gravedad de nuestro globo.

Lo que parece invariable es la permanencia del eje de rotación de la Tierra, no obstante las teorías varias veces emitidas en contrario para explicar algunos fenómenos geológicos que acusan grandes cambios climáticos, sobre todo durante ciertos períodos antiguos (1).

El movimiento diurno de la Tierra es debido, sin duda, a uno angular iniciado cuando ocurrió su separación de la nebulosa de

(1) Sir W. Thomson estimó que la elevación de 600 pies de una región de 1.000 millas cuadradas y 10 de espesor puede hacer variar la posición del eje terrestre en 34 pies. Por otra parte, el profesor G. Darwin ha demostrado que, para que el eje terrestre pudiera sufrir una desviación de 8°, era necesario que, supuestas las condiciones más favorables, la mitad de la superficie terrestre se alzara en masa a la altura de 10.000 pies, hecho inadmisible de todo punto.

No es, sin duda, en un cambio sucesivo del eje del polo donde hay que buscar la explicación de hechos como el de haberse hallado a los 81° 45' de latitud restos abundantes de una vegetación propia de climas cálidos, encerrando una capa de carbón de 25 a 30 pies de espesor; la razón de no reinar entonces allí la baja temperatura que lo hace en la actualidad, sin que pueda precisarse de un modo concreto, se relaciona evidentemente con causas geológicas más bien que astronómicas, como tendremos ocasión de ver en el ulterior desarrollo de esta obra.

que formó parte, y ha tenido que ser en tiempos pasados mucho más rápido de lo que es actualmente. Además, cálculos recientes han probado que las mareas ejercen una lenta influencia retardatriz sobre el movimiento giratorio terrestre, y continuando su labor, la duración del día irá experimentando un aumento gradual, hasta llegar a igualarse con la del año, como hemos dicho acontece en la Luna. La consecuencia de semejante cambio será de tal trascendencia, que un hemisferio terrestre quedará mirando al Sol y, por consiguiente, en día perpetuo, y, el otro, en eterna noche, a la manera como nuestro satélite no nos presenta nunca más que una de sus caras.

Las relaciones de nuestro globo con los demás del sistema solar y las consideraciones relativas a su forma y a toda clase de movimientos, que constituyen el asunto del aspecto cósmico de la Geología, como lo ha llamado el profesor Geikie, no pueden desatenderse en manera alguna en el conjunto de las investigaciones que competen a esta ciencia histórico-natural, por más que sean aún incompletas, a pesar de los laudables esfuerzos de sabios investigadores, algunos de cuyos nombres acabamos de citar en la breve exposición que antecede.

GEOLOGÍA

GENERALIDADES

Asunto y división de esta ciencia.—La Geología tiene por objeto el estudio del globo terrestre. Este estudio comprende el de la disposición y composición del relieve externo, la investigación de las causas que han formado los elementos minerales que le integran y que los han dispuesto del modo como aparecen, y, por consiguiente, la serie de cambios que ha experimentado la Tierra en el transcurso de los tiempos.

Cada uno de estos asuntos constituyen un tratado de la ciencia que nos ocupa, y que lleva un nombre particular: así, el estudio del relieve externo se llama *Geología fisiográfica*; el de las actividades que modifican la superficie del globo, *Geología dinámica*; el de su composición pétreo, *Geognosia*, y el de la historia de las evoluciones que ha ido experimentando durante las edades anteriores, *Geología histórica o estratigráfica*.

Como una de las principales fuentes de investigación, el geólogo se sirve de los restos orgánicos que yacen enterrados entre las capas terrestres, o sea de los fósiles, los cuales constituyen el asunto especial de la *Paleontología*, o tratado de los seres que vivieron en las épocas anteriores a la nuestra. Ofrece éste dos aspectos: uno biológico, que se refiere a la investigación de aquellos seres en lo tocante a su organización, y otro geológico, que consiste en la averiguación, mediante ellos, de la edad de las capas en que se encuentran y de las condiciones que reinaban en la época en que vivieron. En este segundo respecto, la Geología y la Paleontología son absolutamente inseparables.

GEOLOGÍA FISIOCRÁFICA

ESTRUCTURA DEL GLOBO

Tres elementos generales entran en la constitución del planeta en la parte asequible a nuestra observación: el gaseoso o atmósfera, el líquido, o sean los mares, y el sólido, o tierra firme. Están dispuestos éstos en zonas concéntricas, y en el orden de sus densidades, en el cual vamos a examinarlos.

Atmósfera.—Así se llama la envoltura gaseosa que rodea uniformemente a nuestro planeta. Se sabe, por la Química, que se compone esencialmente de nitrógeno y oxígeno en estado de mezcla, en la proporción, en peso, de 77,19 del primero por 20,63 del segundo; el resto hasta las 100 partes está constituido por anhídrido carbónico, vapor de agua, un poco de argón (descubierto modernamente), además de porciones variables y siempre mínimas de ciertos gases que se producen en ocasiones, como el ácido sulfuroso y el hidrógeno. También el vapor acuoso, que es uno de los principales elementos activos de la atmósfera, se encuentra en cantidad variable, según las regiones y las estaciones, lo cual se comprende, atendiendo a que procede del agua que, en estado líquido, existe en los mares y en los ríos y lagos, evaporada y difundida bajo la doble influencia del calor solar y de los vientos. Flota, además, en el aire el llamado polvo atmosférico, algunas de cuyas partículas se ven como chispas brillantes y animadas cuando un rayo de sol penetra en una habitación oscura: polvo que está constituido por tenues materias, tanto minerales como de naturaleza orgánica.

No es posible estudiar la atmósfera directamente más que hasta una altura aproximada de 8 a 10.000 m. sobre el nivel del mar, a cuya elevación no contiene, merced a su enrarecimiento, oxígeno bastante para la respiración. Se ignora la extensión que alcanza dicha envoltura gaseosa; pero este dato no es esencial para nosotros, por cuanto los fenómenos atmosféricos que pueden interesar al geólogo están concentrados en la zona comprendida entre la superficie del Océano y las cimas de las montañas más altas.

Mares.—Cubren éstos, aproximadamente, los dos tercios de la superficie de la Tierra, y el volumen de las aguas representa la milésima parte del total del globo. La tierra firme está concentrada en el hemisferio boreal, ocupando más superficie a medida que se avanza hacia el círculo polar, al contrario de lo que sucede en el hemisferio austral, donde el macizo continental se estrecha constantemente a partir del ecuador, hallándose su límite medio hacia el paralelo 40.

El agua de los mares tiene en disolución aire en proporción de un 3 por 100 de su volumen (a lo cual deben su existencia los organismos marinos) y anhídrido carbónico, más otros gases en proporciones mínimas; sales, y entre ellas predominando el cloruro de sodio, y algunas otras de sosa y de magnesia, y en suspensión, materias arcillosas, légamos y sustancias orgánicas. Tyndall ha demostrado que la coloración del agua del mar y de los lagos se debe a estas partículas en suspensión, las cuales absorben los rayos más refrangibles de la luz solar y sólo dejan paso a los restantes.

Pero la composición y la profundidad no son homogéneas en todo el mar. Por lo que a la primera se refiere, en alta mar y en las profundidades es más salina y menos rica en materias en sus-

pensión que en la proximidad de las tierras, donde los ríos están aportando agua dulce cargada de partículas. Cuanto a la profundidad de los mares, varia también extraordinariamente, siendo los mediterráneos y los estrechos mucho menos hondos que los océanos, y entre estos últimos, más que ninguno el Pacífico (1). Las regiones costeras ofrecen una profundidad inmensamente menor que las depresiones; las más considerables de estas últimas parece, según los últimos sondeos, que sólo excepcionalmente pasan de 7.300 m., cifra que representa con una leve diferencia la altura de las mayores cimas del Himalaya. No forman el fondo de los océanos grandes depresiones a modo de simas regulares, sino que, como el suelo de los continentes, ofrece desigualdades y llanuras, sobre las cuales se alzan montes y cordilleras.

Corteza sólida. — Se admite que el suelo que pisamos es una capa relativamente delgada, *corteza sólida* o *costra terrestre*, la cual envuelve a la porción interna fluida o pastosa, llamada *endosfera*.

Nuestro planeta, en la época primitiva, debió hallarse en un estado semejante al en que se encuentra el Sol. Por gradual enfriamiento, sus elementos constitutivos, mezclados entonces, se irían separando, yendo a la periferia los gaseosos, y hacia el interior, los más fijos y densos, produciéndose las tres zonas de gases, líquidos y sólidos, de que estamos tratando. La de estos últimos, pastosa en sus comienzos, enfriándose en su superficie por la radiación del calor al espacio interplanetario, se consolidaría, por consiguiente, de fuera a dentro, hasta constituirse de un modo uniforme la primera película sólida, que luego iría adquiriendo espesor, a medida que se internaba el enfriamiento. Más tarde, la misma contracción del contenido terrestre fué obligando a la corteza a arrugarse para adaptarse a la masa interior, al modo como lo hace la piel de una fruta que se deseca.

Por lo que se refiere a la composición química, todos los cuerpos conocidos se hallan en la corteza terrestre; pero el dominante es el oxígeno, combinado, sobre todo, con el calcio, el silicio y el carbono, y en menor cantidad, con el aluminio, el magnesio y el hierro. Dichos cuerpos originan casi todas las rocas del globo, que estudiaremos más adelante.

Las rocas se encuentran en su mayoría formando capas envolventes en la corteza, exceptuando las que como erupciones han surgido por las roturas de las anteriores. Sobre las que se consolidaron primero, descansan en forma de casquetes esféricos, de lechos y de lentejones las demás rocas que se han ido posando sucesivamente en el fondo de los mares, horizontales en su origen, pero a menudo dobladas y rotas por efecto de acciones posteriores debidas a la contracción del globo antes indicada.

Respecto al espesor de la corteza terrestre no hay más que con-

(1) Para dar idea de la inmensidad de esta cuenca, que constituye una de las principales deformaciones del globo, se ha dicho que si se arrojara en ella todo el conjunto de las masas continentales, no se llenaría más que una séptima parte de tan enorme cavidad.

jeturas, según las cuales se ha llegado a suponer que alcanzaría unas 20 leguas, siendo, por consiguiente, de una asombrosa delgadez, comparada con el volumen del globo. Se le suele atribuir una densidad media de 2,79, lo que representa la 16.^a parte del peso total de la Tierra y la 20.^a parte del volumen de la misma.

Endosfera.—En cuanto a la endosfera, o sea toda la parte comprendida en el interior del globo por debajo de la corteza, es la más vasta de las regiones constitutivas del planeta, y también la más desconocida. Se presume que ha de hallarse en un estado fluido y, según muchos geólogos, incandescente, por más que esto no pase de ser una suposición (1). Hoy se inicia la idea de que existen en la endosfera dos regiones: una superior, *pirosfera*, y otra profunda, *barisfera*; la primera, que es la menos extensa y que debe hallarse en estado fluido, procede de rocas eruptivas; la segunda estará en estado homogéneo y se comporta como una masa sólida. De la diferencia entre la densidad de los materiales pétreos dominantes en la corteza, que no excede de 3 ó 4, y la total del planeta, obtenida por procedimientos físicos, que, como se ha dicho, es de 5,5, se deduce que la porción superficial accesible a nuestra observación es mucho más ligera que la región nuclear, la cual estará cargada de metales pesados.

La principal influencia, acaso la única, de la endosfera en los procesos geológicos estriba en su lenta, pero continua, contracción, que obliga a la corteza a plegarse a un núcleo cada vez menor, originándose así los relieves y depresiones de la superficie del globo.

RELIEVES TERRESTRES

Continentes.—Las tierras firmes componen en conjunto dos grandes masas continentales: una formada por Asia, Europa y Africa, y como prolongación, la Australia, y otra, por ambas Américas. Esta segunda masa se dirige de NNO. a SSE., mientras que la del Antiguo Mundo se extiende más en dirección E. a O. Ambas van estrechándose hacia el S. (tanto en Africa como en la América meridional). Casi en ángulo recto al sentido de su longitud, profundas escotaduras las dividen en una mitad septentrional y otra meridional, merced a cuyos estrechamientos puede hoy navegarse sin interrupción alrededor de todo el globo, por estar abiertos los istmos de Panamá y de Suez.

Comparando entre sí las grandes masas continentales, representadas en un mapamundi o en una esfera terrestre, es fácil advertir que afectan en su contorno caracteres comunes que les prestan cierta regularidad. Todas ellas son angulares, merced a que

(1) Oportunamente veremos que el globo posee un calor propio, al que se deben las aguas termales y los volcanes; pero no está probado si este calor es, como unos geólogos pretenden, un resto del primitivo estado ígneo del planeta, o un mero resultado de las reacciones químicas que se verifican en el espesor mismo de la corteza terrestre, como otros suponen.

sus principales líneas costeras corren en las direcciones NE. y SO. De la forma homóloga que ofrecen el Antiguo y Nuevo Mundo, resulta el contorno doblemente arqueado de los mares, por ejemplo, el del Atlántico, y con desigual distribución de las aguas y las tierras en los dos hemisferios de que antes hicimos mérito.

Considerados en su disposición interior, consisten los continentes en una sucesión de mesetas y de cuencas separadas entre sí y del mar por sus cadenas de montañas, estando en general la importancia de estas cadenas en relación directa con la depresión cuyo límite marcan. En breve volveremos sobre esta idea, cuando hayamos expuesto algunas indicaciones referentes a los relieves terrestres, que la harán más comprensible.

Islas.—Separadas a mayor o menor distancia de los continentes se hallan porciones de tierra emergidas y rodeadas por el mar. Algunas veces se encuentran tan cerca del continente y separadas de él por aguas de tan escasa profundidad, que es manifiesto que consisten en porciones antes unidas al mismo; en otras ocasiones, la distancia a que están es mayor, pero aun en este caso el estudio de los materiales que la constituyen, comparado con los de las costas más próximas, revela su antigua continuidad. A esta categoría de islas pertenecen las Baleares y la Escocia e Inglaterra con respecto a Europa, como el Japón con respecto a Asia.

Otras islas son independientes por su origen de los continentes y pueden hallarse cerca o lejos de las costas. Deben su existencia a una de estas dos causas, que con frecuencia han obrado sucesivamente: a la acción de los volcanes, cuyas lavas solidificadas, acumulándose en el transcurso de los tiempos por erupciones continuadas, han fabricado montañas que se alzan sobre el agua, o a la acción constructora de los pólipos, cuyos esqueletos calizos, reunidos en colonias de prodigioso número de individuos, acaban por constituir escollos, barras e islas, llamadas estas últimas de coral. Son de origen volcánico las islas atlánticas, como las Canarias, Madera, Cabo Verde y Azores, y poliparias, las innumerables que se extienden, sobre todo, en el océano Pacífico, como las Carolinas, Marianas y Palaos. Las de esta segunda clase parece, sin embargo, que las más veces participan de ambos orígenes, por cuanto su cimiento submarino es volcánico y sólo calizo el coronamiento, elaborado sobre aquél por los pequeños organismos citados.

Planicies.—La Geografía física describe y clasifica los diversos accidentes que la superficie de los continentes ofrece, distinguiéndolos en tierras llanas o *planicies*, *montañas* y *valles*.

Las planicies pueden hallarse a grande altura, y si ocupan notable extensión, se denominan *mesetas*, como la de Quito y las centrales de nuestra Península, las cuales dominan a las regiones que las rodean; otras se encuentran próximamente al nivel del mar, y son las *planicies*, *países bajos* o *depresiones*, como la Holanda, que está hasta por debajo de dicho nivel. Estas últimas formaban antiguos fondos de mares o de lagos, hoy desecados, y se caracterizan por-

que en ellas las corrientes de agua circulan próximamente a flor de tierra, al paso que el sistema hidrográfico de las mesetas consiste en entalladuras, con frecuencia muy profundas, por las que el agua se precipita a un nivel mucho más bajo que ellas.

Montañas.—Llámanse así las elevaciones del terreno que ocupan una extensión considerable y constituyen divisorias de aguas. De su parte culminante o *cima* descienden las *laderas*, las cuales presentan ordinariamente curvas en relieve o en hueco, que constituyen intervalos aisladores de cada uno de los montes que en conjunto componen la cadena.

Hay elevaciones aisladas que se alzan sobre las llanuras y las mesetas, como los conos volcánicos del Etna, del Vesubio, de la meseta de Quito y los negrizales del Campo de Calatrava, en la Mancha; pero lo general es que las montañas se presenten reunidas en bastante número y ligándose unas con otras en serie lineal o transversalmente, saliendo ramas de una cadena, o en forma radiante a partir de un monte central. La primera disposición, o sea la lineal, es la predominante, según la cual las montañas se enlazan, constituyendo un todo entrecortado, que se califica, según su importancia, de *sierra*, *cadena* o *país de montañas*.

Atendiendo a su altura absoluta se clasifican estos relieves: en *montañas bajas*, cuando no exceden de 500 a 700 m.; *medias*, desde 700 a 1.500; *alpinas*, de 1.500 a 2.000, y *altas montañas*, las que pasan de esta cifra. Relacionados con su elevación presentan caracteres propios; así, a medida que las montañas son más encumbradas, son más profundos también los valles que surcan sus laderas, y todo su relieve es más escarpado, merced a la mayor acción erosiva de las aguas y los hielos; al mismo tiempo, la vegetación que las revisita afecta distinto carácter según la elevación, hasta llegar a la zona de la esterilidad completa y de las nieves perpetuas en las cimas más altas (1).

Valles.—Así como los montes están separados unos de otros por excavaciones o *valles*, según queda dicho, las montañas, a su vez, y las mesetas lo están por otros más considerables, que la acción erosiva de las corrientes de agua que bajan por las laderas ha ido fraguando en el transcurso de los tiempos. En las partes elevadas de las montañas, y aun en las mismas cimas, las entalladuras constituyen los *pasos*, *puertos* o *gargantas*, que ponen en comunicación dos valles opuestos.

Los valles pueden correr en la dirección general de las cadenas, y se dicen entonces *longitudinales*, o, por el contrario, en ángulo recto a la cadena, y son *transversales*, enlazándose estos últimos entre sí por los puertos ahora mencionados.

Cuencas.—La lluvia que cae en las mesetas y montañas va formando arroyuelos, que se reúnen en arroyos mayores o torrentes, y éstos se suman en los valles, constituyendo ríos.

(1) La geografía submarina es, en general, enteramente semejante a la aérea, no siendo menos accidentada.

Lo general es que corran por el valle siguiendo su pendiente y más o menos encauzados. Cada río asume el caudal líquido de la superficie de un conjunto de vertientes que le alimenta, o sea de una *cuenca hidrográfica*, y reuniéndose a otro y luego a otros, acaba por formarse un río mayor, que desagua en el mar. El agua descende en sentidos opuestos, por los lados de cada cordillera, y la dirección de sus crestas marca la *divisoria de aguas*.

Cuando los ríos descienden a las planicies bajas que se oponen por su falta de declive al desagüe, el líquido se acumula en las depresiones del terreno, originando *lagos* o *charcas*, y si estas depresiones faltan, las planicies inundadas constituyen *marismas* y *pan-tanos*.

Simetría de los relieves continentales.—Dana, basándose, sobre todo en la estructura tan sencilla de las dos Américas, formuló el

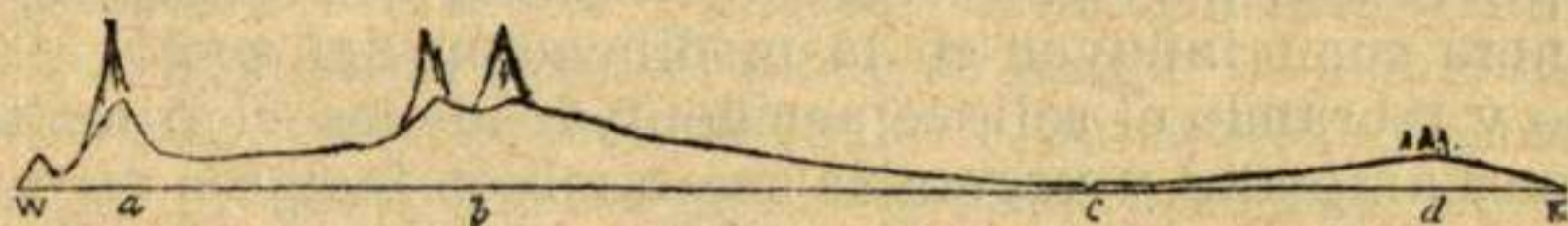


Fig. 3.ª—Corte transversal de la América del Norte, según Dana. *a*, Sierra Nevada; *b*, Montañas Rocosas; *c*, Misisipí; *d*, Apalaches. Entre *a* y *b* se halla la planicie de Utah y la cuenca del gran lago Salado; entre *b* y *d* se halla la gran cuenca hidrográfica del Misisipí.

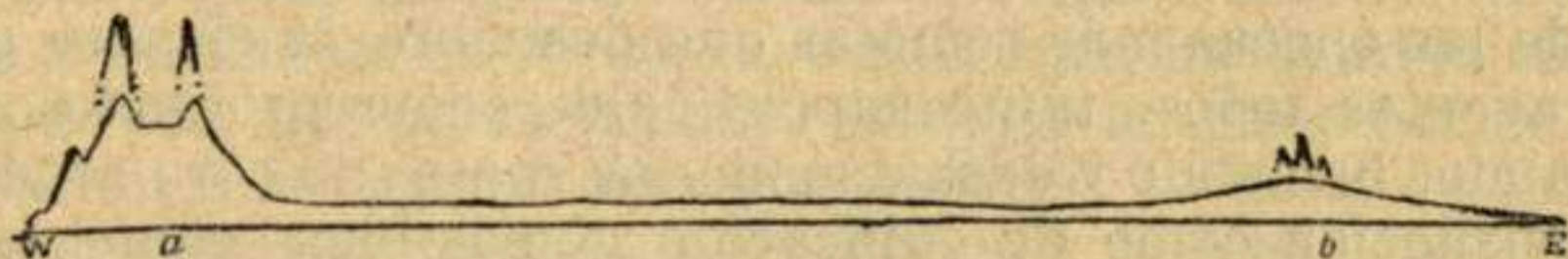


Fig. 4.ª—Corte transversal de la América del Sur, según Dana. *a*, Cordillera de los Andes; *b*, Sierras orientales del Brasil. Entre *a* y *b* se halla la gran cuenca del Amazonas.

principio de la simetría de los continentes en los siguientes términos:

«Los continentes tienen en general costas montañosas y un interior deprimido en forma de una o de muchas cuencas separadas por cadenas intermedias. El borde más elevado es el que mira al Océano más extenso.»

Los adjuntos esquemas (figuras 3.ª y 4.ª) explican perfectamente las ideas ahora indicadas y muestran cómo el interior de los continentes es una cuenca que recoge las aguas de los dos sistemas principales de cadenas limitantes. Sin entrar por ahora en otros detalles, que exigirían conocimientos zoológicos que más adelante se esbozarán, nos limitaremos a decir, en conclusión, que así como en el contorno de los continentes hemos visto se descubría una ley de regularidad, la hay también en la disposición del interior de los mismos, y que ésta puede, además, generalizarse a los relieves y depresiones oceánicas.

GEOLOGÍA DINÁMICA

GENERALIDADES

Agentes geológicos.—Ya hemos dicho que la Geología dinámica tiene por asunto el estudio de los procesos por cuya virtud los factores o *agentes* naturales modifican en el transcurso del tiempo tanto el relieve terrestre como la composición y modo de disponer los materiales que le constituyen; su conocimiento es, por tanto, tan necesario para explicarse las formas actuales del globo como para el estudio de los fenómenos del pasado.

Dichos agentes son la lluvia, la atmósfera, por virtud de su composición y movimientos, la helada y otros fenómenos, que investiga la ciencia llamada Meteorología en lo que se refiere a sus causas físicas, las cuales tienen su principio, a la vez, en la energía solar y en la gravedad; pero el geólogo los estudia solamente en cuanto a la manera como influyen en la modificación del suelo, alterando las rocas y labrando el relieve accidentado de los continentes. Los organismos animales y vegetales son también factores de modificaciones y creaciones, a veces muy importantes, actuando de un modo lento, pero continuo. Además de estos agentes externos o *exógenos*, existen otros, como los productores de fenómenos volcánicos y terremotos, que son internos, cuyo estudio se ha designado modernamente con el nombre de *Meteorología endógena*.

Desde las épocas más remotas que descubre la ciencia geológica, los agentes todos, tanto superficiales como profundos, vienen modificando, haciendo y deshaciendo las rocas. Su obra es tan pronto de destrucción como de edificación, o más bien comienza por la primera y acaba por la segunda; así, por ejemplo, cuando un río se sale de madre, revuelve y acarrea cuanto encuentra en sus márgenes; pero, a medida que va disminuyendo el caudal extraordinario de sus aguas, en las mismas orillas deposita aquellos materiales, constituyendo un suelo nuevo; los que por ser más tenues o solubles son arrastrados al mar, se posan o precipitan en su fondo, convirtiéndose más tarde en rocas compactas.

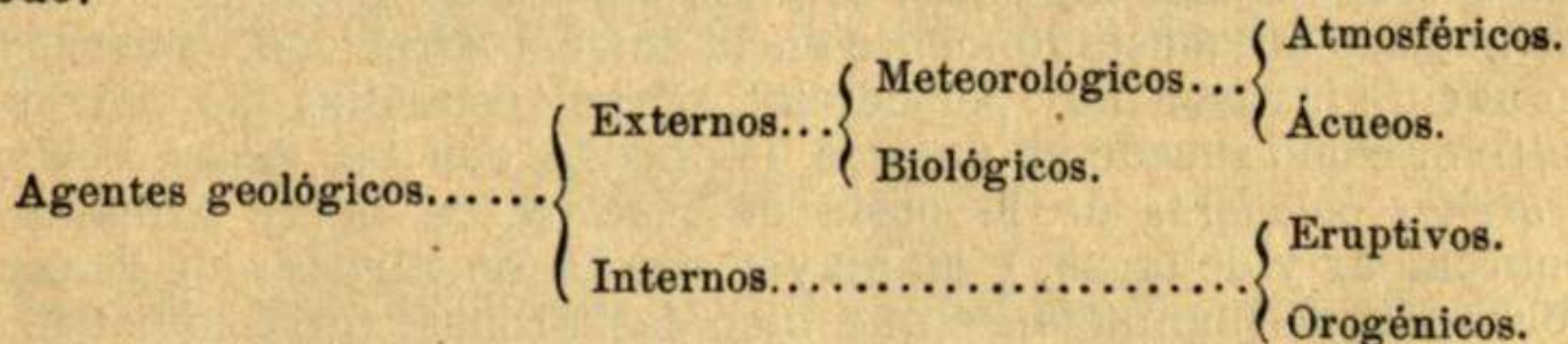
El tiempo como factor geológico.—La obra de los factores que modifican el globo es las más veces muy lenta. Los antiguos naturalistas, no pudiendo explicar cómo agentes, al parecer, tan insignificantes como las gotas de agua que caen sobre la piedra, se escurren por las pendientes o penetran por las grietas de las rocas son capaces de demoler las montañas, desmenuzarlas y transportarlas al fondo del mar o fabricar las cañadas más inmensas o las maravillosas cuevas de estalactitas; presenciando los resultados gigantescos de semejantes trabajos, suponían que la Naturaleza había desarrollado de tiempo en tiempo energías extraordinarias, produciendo cataclismos espantosos. Hoy se interpretan de otro modo estas obras geológicas; sabemos que en las épocas anteriores han actuado, en general, las mismas causas que en la presente, sólo que con-

templamos en dichas obras el resultado de trabajos continuados durante millares de siglos. Por esto se ha dicho, aunque con impropiedad, que entre los factores geológicos el tiempo es el más importante, queriendo expresar así que éstos necesitan obrar en períodos considerables para producir hondas modificaciones.

La duración del tiempo que supone la constitución y relieve de la Tierra, tal como hoy se ofrece a nuestra observación, es tal, que no podemos concebirla estando acostumbrados a contar por años los acontecimientos de nuestra vida y por siglos los de la historia humana; en Geología son inaplicables estas unidades de medida cronológica, y se necesitarían otras inmensamente mayores, a ser comensurable la historia de nuestro globo. Así como la Astronomía embarga nuestro espíritu con la inmensidad del espacio, la Geología no es menos grandiosa que ella, asombrándonos con la magnitud del tiempo.

La evolución terrestre. — Sin ser esencialmente distintos los agentes que hoy obran sobre el globo de los que lo hicieron en las pasadas épocas, como acabamos de decir, su acción continuada ha acabado por producir hondas modificaciones, que han dado por resultado efectos diferentes en el transcurso de las edades. El estudio de los restos de animales y plantas encerrados entre las capas terrestres ha probado que los organismos se han renovado a compás de los cambios que el planeta ha sufrido. La superficie de los continentes, mucho más reducida y uniforme primitivamente, fué agrandando y arrugándose en forma de cordilleras, hasta adquirir su disposición actual, que no es tampoco más que un momento de su continuo variar, una agrupación pasajera de la materia terrestre, siempre en circulación. Esta diversificación o cambio desde el estado homogéneo primitivo al heterogéneo, que es a lo que se llama evolución, constituye la *vida* del globo.

División de los agentes geológicos. — En la Naturaleza, todos los factores del dinamismo geológico actúan simultánea y solidariamente; pero para su estudio sistemático es preciso considerarlos aislados primero, y sólo entonces nuestro espíritu puede ir relacionando sus efectos en el complejo conjunto de las transformaciones que sufre la corteza terrestre. Los dividiremos del siguiente modo:



1.º AGENTES ATMOSFÉRICOS

Acción pasiva de la atmósfera. — La atmósfera, como desde luego se comprende, tiene una inmensa influencia geológica, obrando pasiva, mecánica, térmica y químicamente.

La acción pasiva es, sin duda, la más importante. Merced a ella, el calor solar se reparte por la superficie del globo, y durante la noche va irradiando lentamente, sin llegar a desaparecer todo el recibido durante el día, por lo cual nunca reina el frío intenso del espacio interplanetario (1). Sin la atmósfera no podría haber mares, pues la presión de aquélla es la que mantiene el agua en estado líquido, ni, por consiguiente, lluvia, ni existirían los seres orgánicos, quedando la superficie de la Tierra sumida en el reposo que reina en la de la Luna. Es la atmósfera, en una palabra, el medio en que se realizan todos los procesos de la superficie del globo, tanto geológicos como biológicos.

Acción mecánica de la atmósfera.—Obra el aire de un modo activo sobre las rocas por sus movimientos, y como agente de transporte del vapor acuoso.

La atmósfera está circulando constantemente, merced al diverso grado de temperatura que recibe en las distintas zonas del globo. Además de esto, como la velocidad, que alcanza su máximo en el ecuador, decrece hacia los polos, según ya se ha dicho (pág. 18), la corriente aérea experimenta un cambio de dirección, por virtud del cual su trayectoria se prolonga enormemente.

El viento transporta las partículas pulverulentas disgregadas de las rocas por otros agentes; así, las cenizas de los volcanes, arrastradas por él, han cubierto a veces vastas superficies, extendiéndose a inmensas distancias; pero, sobre todo, tienen importancia los acarreos aéreos a lo largo de las playas arenosas y en el interior de los desiertos, donde constituyen series de montículos de 10, 20 y hasta 60 m. de altura, que el mismo viento vuelve a elevar para

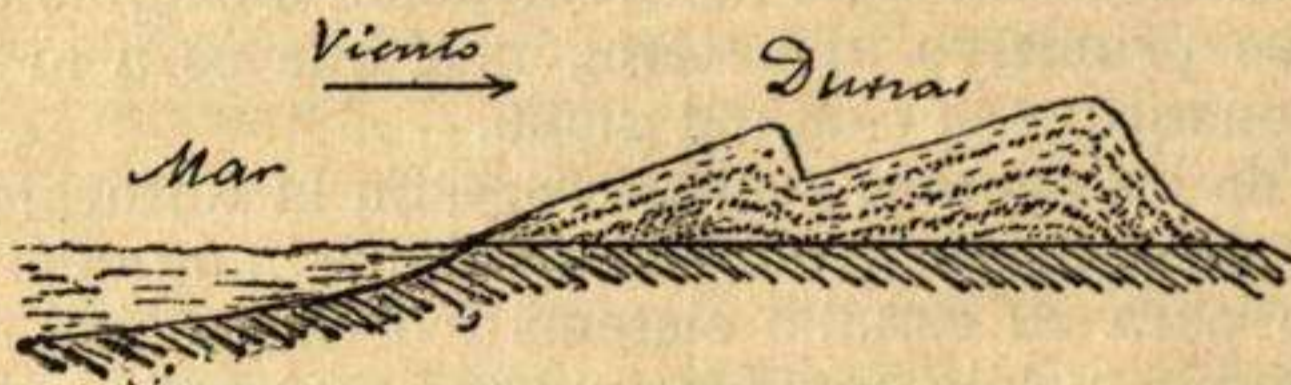


Fig. 5.^a — Perfil normal de una duna.

transportarlos más lejos (fig. 5.^a). En las costas donde reinan vientos que soplan constantemente en la misma dirección, constituyen un agente invasor muy perjudicial, porque esteriliza las tierras de cultivo, como sucede en nuestra Península con las *dunas*, *médanos* o *arenas voladoras* de la costa de Huelva, de la de Alicante en Guardamar y de otras, y en mayor escala en algunas de Francia. Por medio de plantaciones que fijen las arenas, como lo hacen las

(1) El aspecto anguloso que caracteriza a los relieves de la Luna se ha explicado por Faye como el efecto de las rupturas de sus rocas producidas por los cambios repentinos de dilatación y contracción consiguientes al paso súbito en la superficie de nuestro satélite desde un calor abrasador durante el día a un frío intensísimo durante la noche; es la consecuencia natural de la falta de atmósfera lunar.

del pino, que pueden vivir en aquellos suelos, se ha conseguido en las Landas de Burdeos detener la invasión de médanos capaces de enterrar pueblos enteros.

Fuera de ciertos casos y del excepcional de los huracanes, el viento no es un agente geológico tan importante como podría parecer a primera vista, pues sólo actúa sobre las partes de las rocas ya disgregadas por otros agentes.

Acción térmica de la atmósfera.—Por su temperatura disgrega el aire las rocas, ya por desecación, cuando ésta es elevada, ya hendiéndolas, si es baja. Las alternativas de estos cambios contribuyen a triturar y desmenuzar las rocas, sobre todo en las altas montañas, y de ahí las muchas piedras sueltas que hay en sus cimas y laderas.

También en las llanuras las alternativas de calor y frío, a veces muy considerables en el solo espacio de un día, trabajan eficazmente para cuartear las superficies de las rocas y del suelo.

Acción química de la atmósfera.—El aire, de cuya composición nos hemos ocupado (pág. 26), obra, además, químicamente; esto es, por virtud de su misma composición, alterando la de las rocas. El oxígeno, el anhídrido carbónico y el vapor de agua son los factores principales de dicho proceso, en tanto que el nitrógeno, no obstante ser el cuerpo más abundante en la atmósfera, no sólo no ejerce acción sensible, sino que modera la energía de los otros ahora mencionados.

Interpuesto en el aire, y a veces en gran cantidad, es el vapor acuoso un agente importante de la alteración de muchas rocas, merced a la hidratación de ciertos minerales, por virtud de la cual aumentan de volumen, se vuelven terrosos y se disgregan, preparándose así para que los acarreen otros agentes.

Cuando, por el contrario, el aire es demasiado seco habitualmente en una región, ésta se transforma en un páramo o en un desierto, por faltarles a las plantas el grado de humedad necesario para su vida. Entonces, desprovisto el suelo de vegetación que le proteja contra el ardor del Sol y las alternativas de temperatura, las cimas de las montañas se despojan de las nieves, las pendientes se vuelven áridas y sus materiales pétreos se disgregan, quedando a merced de la acción de transporte de los vientos y de las aguas pluviales.

2.º AGENTES ÁCUEOS

El agua, en su constante emigración del mar a los continentes, y viceversa, y de la superficie del suelo a las profundidades, de donde vuelve al exterior, es el elemento cuya movilidad, nunca interrumpida, ejerce mayor influencia geológica. Esta actividad se mantiene por la influencia del calor solar.

El descenso que la temperatura del aire cargado de vapor de agua en los mares de las regiones calientes experimenta al llegar

a regiones más frías determina la producción de la lluvia, que se transforma en aguas corrientes. Entre el ecuador y los trópicos, la precipitación de la lluvia se realiza con una regularidad astronómica; fuera de esta región, a la influencia de los vientos viene a unirse la de las montañas, produciendo muchas variaciones locales. En general, la cantidad de lluvia aumenta con la altitud, sin duda porque el aire se enfría tanto más y, por consiguiente, pierde su poder de conservar el vapor a medida que se pone en contacto con las cimas elevadas.

A partir de las regiones más calientes de la Tierra, ya al N., ya al S., la cantidad anual de agua que cae disminuye por lo general, por más que el número de días lluviosos suele ser, por el contrario, mayor. Las cadenas montañosas, combinando su influencia con la de los vientos, producen infinitas variaciones locales en este respecto: así, en la *región de las calmas*, y, sobre todo, en los montes Khasi, a unos 160 Km. al NE. de Calcuta, es donde se precipita la mayor cantidad de lluvia del mundo, mientras que en Calcuta misma apenas llega a la décima parte que en aquéllos; en otras regiones del globo cae una cantidad media, y en algunas llega a ser nula, como acontece en el Alto Egipto, el Sahara, el desierto de Gobi, en el Asia Central y en el litoral del Perú.

En las condiciones normales, el agua de lluvia que se precipita sobre el suelo se divide en tres partes: una que corre por la superficie, otra que se infiltra en el terreno, y el resto que vuelve a la atmósfera evaporándose.

Aguas corrientes.—Observando lo que acontece en el suelo durante la lluvia, se puede sorprender todo el mecanismo de las grandes transformaciones que este agente realiza en la superficie del globo. Si el líquido cae en un suelo de roca dura y compacta, como el granito o la pizarra, después de haber empapado el delgado manto de tierra que suele cubrirlas, corre al principio en filetillos, que, juntándose, forman en las pendientes arroyos, y éstos se suman, originando ríos en las vaguadas de los valles, y uniéndose entre sí, componen uno mayor, que desemboca en el mar. Pero si, en lugar de correr el agua sobre rocas impermeables, encuentra un terreno poroso o rocas que se dejan atravesar por ella, una parte le penetra, y aun hay suelos en que la absorción es tal, que desaparece totalmente sin mojar apenas la superficie.

Denudación.—La corriente de las aguas produce efectos mecánicos que dependen de la masa del líquido y de su velocidad, la que, a su vez, está principalmente determinada por la pendiente. Durante las grandes lluvias, las aguas caminan tumultuosamente en todas direcciones, desgastando el suelo, y se llaman *aguas salvajes*; pero cuando la caída se verifica por una pendiente moderada y sobre rocas que encierran cantos y restos arenosos, el agua arrastra las materias que los mantienen trabados, y luego las arenas y los cantos, produciendo acumulaciones de ellos, y llevándoselos los ríos, los van desgastando y triturando en su trayecto.

Recogiendo una porción de agua turbia de un río, sobre todo después de una crecida, y dejándola reposar en una vasija, se advierte al cabo de algunas horas, que el líquido se aclara y vuelve transparente al mismo tiempo que forma un depósito en el fondo. Desecando este poso, se puede comprobar que consiste principalmente en arcilla, la cual engloba otros restos de minerales, que son precisamente de la misma naturaleza que las rocas que componen la cuenca del río. Esto quiere decir que los afluentes del mismo, con ayuda de los demás agentes geológicos, han ido desgastando los materiales que han encontrado en su camino, trabajo preliminar que se denomina *erosión*, y después transportando el desecho resultante de ésta, a cuyo proceso se llama *denudación*, es decir, descarnamiento, porque deja desnudas las rocas vivas.

Cuando las aguas pluviales descienden por pendientes donde no pueden concentrarse, arrastran al pie de ellas numerosos materiales sabulosos, mezcla de piedras, arenas y de barro, arrancados al suelo que recorrieron. Estos materiales se depositan en capas irregulares inclinadas, y los fragmentos de rocas que contienen son angulosos; pero cuando las corrientes se hacen más impetuosas, acarrean todos estos cuerpos, que van a parar por de pronto a los arroyos y ríos, donde los trozos de rocas son desgastados paulatinamente y acaban por constituir los cantos rodados, guijarros o peladillas de río, y si quedan reducidos al tamaño de granos, forman la grava y la arena, incluso la más fina.

El trabajo de erosión es realizado por las corrientes a beneficio de dicha arena y cantos que transportan, los cuales van raspando y limando las rocas, sobre las que se deslizan, disgregándolas poco a poco. De aquí la formación de mojones o masas aisladas donde la fuerza de la corriente es menor o la roca más resistente, originando a veces accidentes pintorescos (fig. 6.^a). Del mismo modo, la ero-



Fig. 6.^a—Mogotes de erosión en la provincia de Cuenca, según Botella.

sión fluvial cava los profundos precipicios por donde corren los ríos que bajan por pendientes muy rápidas, como sucede al Tajo en las provincias de Guadalajara y Toledo, y en casi todo su trayecto. Entre estas obras de la Naturaleza, son asombrosos los *cañones* del Colorado, que desemboca en el golfo de California, profundos barrancos por cuyo fondo se desliza el río y cuyas paredes miden

de 1.500 a 1.800 m. de altura, distando sus crestas superiores de 8 a 20 Km.

Las aguas corrientes acrecientan su energía mecánica en razón directa del ángulo de las pendientes por las cuales descienden y de la longitud de su trayecto. Cuando se ve correr un arroyo en el buen tiempo, no es fácil hacerse cargo del poder destructor del agua; mas cuando las fuertes lluvias llenan los cauces y se despeñan impetuosamente las corrientes, el estrépito con que las piedras se muelen unas con otras, triturándose y desmenuzándose, revela bien la importancia de dicho agente. Los torrentes que bajan a veces de las montañas precipitándose por pendientes abruptas, como los mismos ríos ordinarios durante las crecidas, adquieren una fuerza impulsiva colossal, acarreando masas de piedra de muchas toneladas y golpeando con ellas cuantos obstáculos hallan a su paso, derribándolos y transportándolos a distancia.

Para dar una idea de la importancia de la obra destructora de las aguas superficiales, reproduciremos el cálculo de Geikie, según el cual, el Támesis conduce anualmente al mar 400.000 m³ de materia sólida. Conociendo la superficie de la cuenca, el volumen del agua que descarga y la naturaleza de sus rocas, se puede calcular la substracción anual que aquélla experimenta, como lo han logrado, con aproximación, Comisiones encargadas de estudiar el problema en las cuencas del Misisipí, del Danubio y del Ródano. El último de estos ríos se ha estimado que remueve un pie de espesor de roca en la superficie de toda su cuenca en 1.500 años.

Aluviones. — Si el río, en su nacimiento o en su trayecto, se ensancha hasta constituir un lago, la corriente se paraliza al llegar a él, depositando los detritos que conducía, y el agua se despoja de materias en suspensión; así, por ejemplo, el líquido que entra impetuoso y turbio en el lago de Ginebra se detiene en éste y sale por el extremo opuesto del Ródano con una limpidez ideal. En el transcurso del tiempo, los barros y detritos pueden acabar por rellenar la cavidad del lago, el cual se va haciendo así más ancho y menos profundo, hasta transformarse en una superficie pantanosa, a través de la cual la corriente establece una marcha lenta y vagabunda. A este terreno así formado se llama *aluvión*.

También originan los ríos en sus orillas depósitos de guijarros y otros materiales, es decir, aluviones, productos de las crecidas que experimentan cuando afluye a su cauce repentinamente una cantidad extraordinaria de agua, como sucede por efecto de las tormentas o por el derretimiento repentino de las nieves de la montaña de la cuenca. Al encauzarse el río en su lecho normal, deja en sus orillas una capa de fango, limo o arcilla, gravas y cantos rodados mezclados con materias orgánicas que forman ese terreno feraz, habitual en tales parajes. La historia del antiguo Egipto ha hecho célebres las inundaciones del Nilo, por lo benéficas para el cultivo del trigo que allí se cosecha, así como entre nosotros son tristemente reputadas las de Murcia, entre otras, por

ser en éstas inmediatos los inmensos daños producidos por las riadas, y para época remota, las ventajas consiguientes a la creación de tierras laborables, nuevas y fértiles.

Estuarios, barras y deltas.—Los ríos desembocan en el mar por una escotadura de la costa, llevando, día tras día y año tras año, los materiales substraídos a las cuencas por la obra de la denudación. La posición de esta escotadura dependería en su origen de las condiciones generales de la pendiente de la cuenca; pero después, el trabajo erosivo de la misma corriente ha ido produciendo la forma y dando la extensión y profundidad que ofrece el *estuario*, como se llama a esta región costera de la desembocadura. El mar penetra en ella y mezcla sus aguas con las del río, entrando periódicamente tierra adentro a la hora de las mareas.

Si el mar experimenta mareas de gran amplitud y el litoral está barrido por corrientes, las materias que el río aporta no pueden depositarse en el estuario, porque dichas mareas las desalojan de él. Pero inmediatamente que aquellas materias tienen acceso al mar, comienzan a posarse las más gruesas y luego las restantes en el punto de equilibrio entre la fuerza impulsora del río y la del mar, formándose un depósito de materiales, en parte movable, que avanza o retrocede, según la hora o la fuerza de la marea.

A este depósito se llama *barra*, y constituye un obstáculo importante para la entrada de las embarcaciones en los ríos navegables.

Cuando la acción de las mareas es poco enérgica y el mar en que el río desemboca no está barrido en sus costas por corrientes, los cuerpos que el agua de éste lleva en suspensión pueden ir acumulándose en el estuario, el cual se rellena, avanza en el dominio del mar y constituye un depósito aluvial, que es el llamado técnicamente *delta*, por su contorno triangular, como el de la letra griega Δ , y en español, *alfaque*. El ejemplo por excelencia es el del Nilo, de perfecta regularidad en forma de triángulo, cuyo vértice, situado contra la dirección del río, se halla cerca del Cairo, a 200 kilómetros de la costa. Todo este espacio, relleno hoy por aluviones fangosos, está recorrido por dos derivaciones del río, que eran siete en tiempo de los Faraones. El Misisipí ha fraguado asimismo en su desembocadura un delta que tiene más de 300 Km. de largo por otros tantos de ancho, y cuyo avance sobre el mar puede calcularse en unos 20 m. por año, o sea 2 Km. por siglo; y en nuestro país es notable el del Ebro (fig. 7.^a), que se extiende 24 Km. en el Mediterráneo, y cuyas tierras bajas, cubiertas de barros, de salinas, de lagunas y de falsos ríos, ocupan una extensión que no bajará de 400 Km².

Acción química de las aguas superficiales.—Por su acción química, el agua modifica las rocas de la superficie del globo, las disgrega y las pone a merced de los agentes de transporte; además, acarrea una parte de sus elementos constitutivos, que vuelve a depositar más o menos lejos bajo nueva forma. El agua en estado de

perfecta pureza no disuelve más que el yeso y la sal entre las sustancias que se presentan en cantidad suficiente para constituir rocas; mas ejerce sobre otras fenómenos de hidratación que contribuyen a transformarlas; así, el óxido anhidro de hierro se cambia en limonita o peróxido hidratado, y la anhidrita, en yeso, produciendo una dilatación de un 10 por 100. Pero el agua de lluvia contiene en disolución oxígeno y anhídrido carbónico, y, además, se

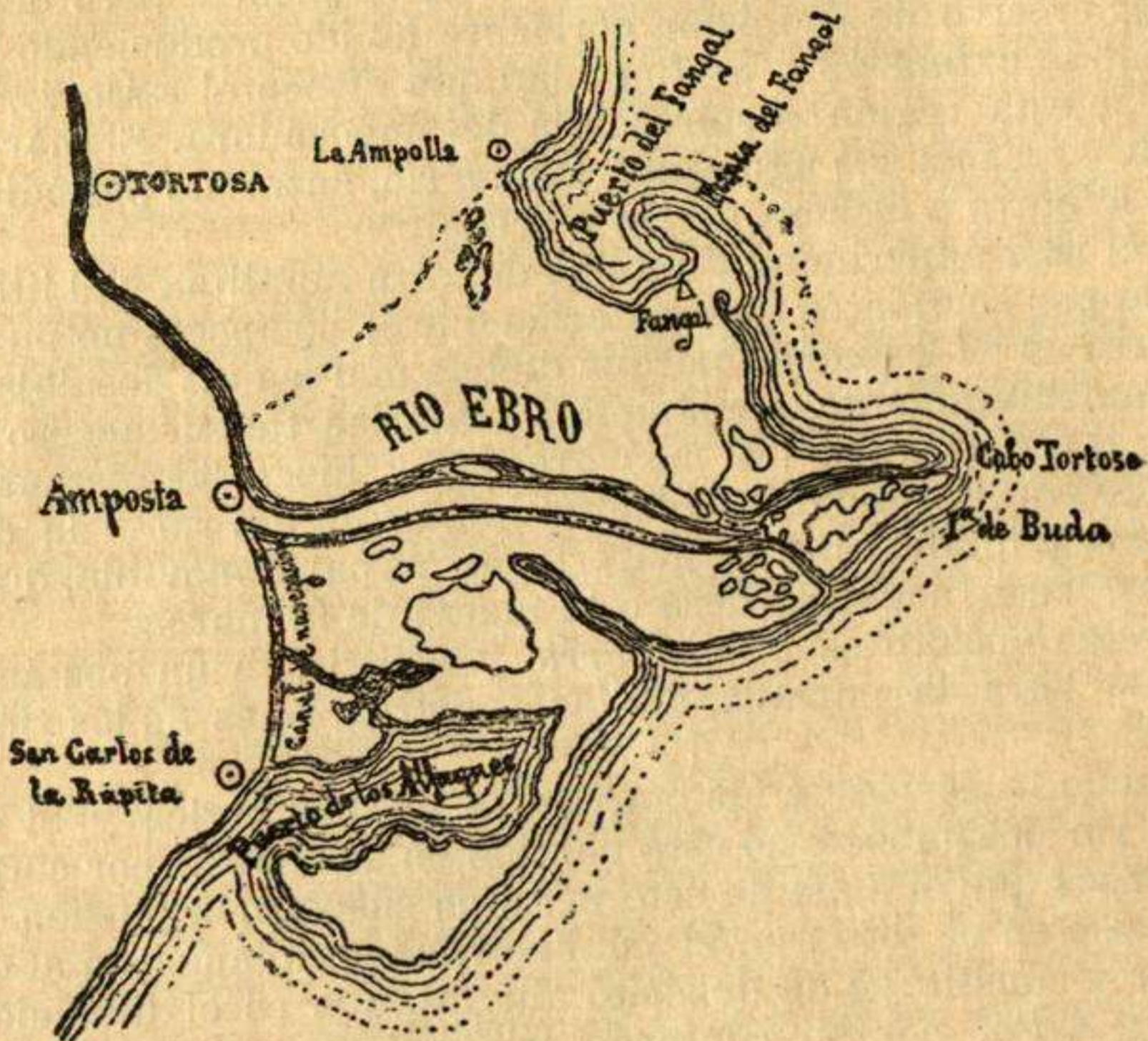


Fig. 7.^a—Delta del Ebro.

enriquece en este segundo recorriendo el suelo, merced a las materias orgánicas que hay en él, cuyos cuerpos comunican al líquido una energía química importante. Así, el agua carbónica tiene la propiedad de disolver la caliza, haciéndola pasar al estado de bicarbonato soluble; descompone también, a la temperatura ordinaria, casi todos los silicatos que existen en grandes cantidades en las rocas no calizas. Las que contienen ya feldespato, ya silicatos básicos, como el piroxeno y el anfíbol, se alteran, en consecuencia, por transformarse estos minerales en carbonatos alcalinos o alcalinotérreos, al paso que los silicatos aluminosos, si los hay, dan origen a productos análogos a la tierra de porcelana (*kaolinización*). Cuando nos ocupemos de la descomposición del granito, veremos cómo se realizan en él estos procesos hidroquímicos, que le dejan reducido a materias térreas y pulverulentas. Análogamente, las pizarras arcillosas se alteran en contacto del agua y del aire húmedo, cambiándose en arcillas plásticas o en materias terrosas, y

otras muchas rocas quedan reducidas también a elementos incoherentes, por haber atacado el líquido a otros minerales que les daban trabazón, cual sucede a las areniscas y almendrones, que se vuelven arena o guijas sueltas.

Acción mecánica del mar.—Al igual que las aguas continentales, las del mar ejercen importantes obras demoledoras y creadoras, por procesos tanto mecánicos como químicos. A los primeros se refieren su circulación y su acción destructora.

Corrientes marinas.—Las aguas del mar, calentadas en la zona tórrida y enfriadas en las glaciales, se dilatan en las primeras, avanzando hacia las segundas; pero enfriándose en su camino, van retardando su marcha para regresar al punto de partida. Tal es el origen de las corrientes marinas, de las cuales, la mejor conocida, el *Gulf-Stream* (1) o corriente del Golfo, consiste en una masa de agua caliente que se lanza desde el golfo de Méjico a través del estrecho de la Florida, y después de haber corrido hacia el N., paralelamente a la costa de los Estados Unidos, cruza el océano Atlántico en dirección NE. Se subdivide en diversos brazos, uno que se dirige a las regiones polares, otro que bordea las costas septentrional y occidental de nuestra Península, para unirse al anterior, y un tercero, que deriva de éste, prolongándose frente a Africa, para regresar a América, constituyendo la corriente ecuatorial del Norte. A estas cálidas corrientes deben las costas del occidente europeo la benignidad de sus inviernos. Otras análogas, aunque menos conocidas, recorren el hemisferio Sur y el océano Pacífico en ambos hemisferios.

La circulación de las aguas del mar no ejerce una acción demoledora importante; pero obra, en cambio, de un modo más transcendental como medio de arrastre de los materiales que los ríos conducen y de los que se desmenuzan en las costas, repartiendo por todo el fondo de aquél las materias que por su tenuidad pueden ser acarreadas en suspensión y que, en forma de limo, descubren los dragados en cuantos fondos marinos se exploran.

Erosión de las costas.—El mar corroe las costas de los continentes y deposita a un nivel inferior los materiales que va lentamente arrancando.

Las olas, en su perpetuo movimiento, que nos dan el espectáculo de una actividad nunca en reposo, al romper contra los acantilados costeros, los azotan con las piedras que levantan. Son como arietes que van demoliendo las rocas costeras y minándolas por su pie, hasta que llega un momento en que las masas, socavadas hondamente, se desploman por su propio peso (fig. 8.^a). El trozo así desprendido sirve al principio de dique a la acción erosiva del mar; pero éste le va rompiendo poco a poco, hasta reducirle a guijarros y arenas, con los que continuarán las olas su obra de demolición. Lo mismo que hemos dicho al hablar de la erosión fluvial,

(1) Pronúnciase *Gulf-Strim*.

que los arroyos no dan idea durante el tiempo apacible del poder mecánico de que gozan las crecidas, puede aplicarse al mar: en tiempo de calma es inapreciable su acción sobre las rocas ribereñas; pero cuando las tempestades levantan enormes olas cargadas

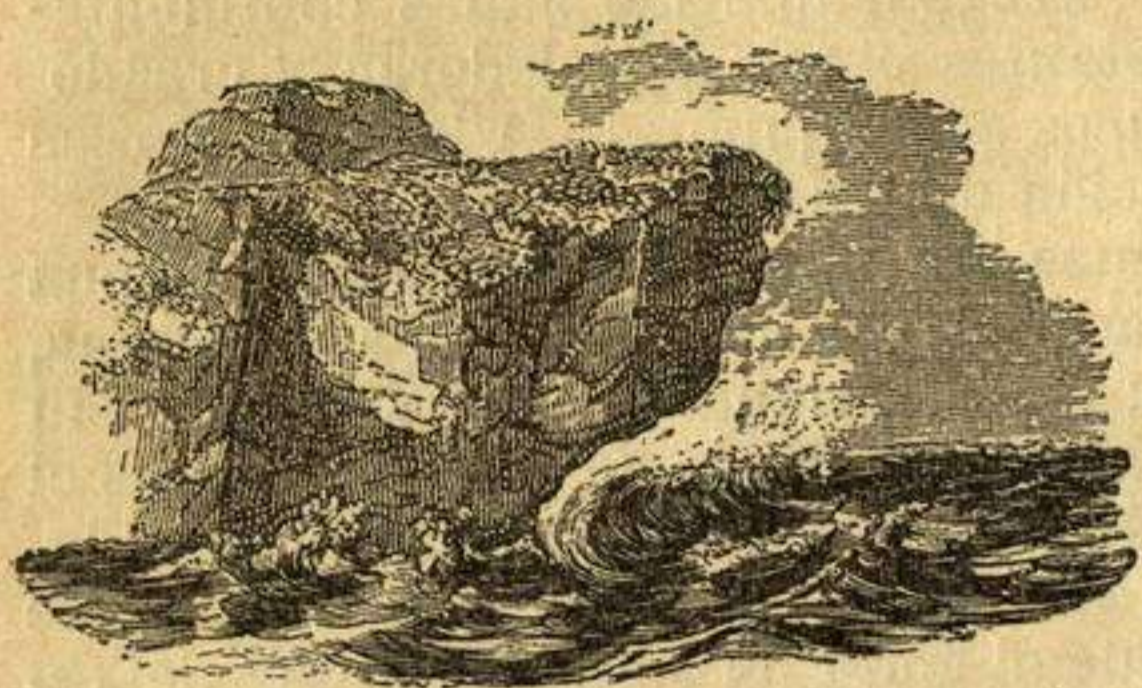


Fig. 8.^a—Erosión marina de un acantilado.

de piedras, se ve cómo las arrojan contra los peñascos y las muelen violentamente unas contra otras al retirarse el agua, produciendo un ruido que se percibe a veces a grandes distancias. Las mareas, sobre todo las equinocciales, hacen llegar esta obra de demolición a niveles donde no alcanzan las olas ordinariamente.

Como todas las rocas no ofrecen la misma resistencia, ni la ola trabaja homogéneamente en las diversas riberas, la erosión marina va operando un trabajo desigual, del cual resulta el aspecto dentado y pintoresco de los acantilados costeros y de las rocas e islotes que aparecen aislados. En escala mayor, la misma causa origina el borde sinuoso de las costas, que se ve en los mapas de tantas localidades, el de nuestra Península, por ejemplo, sobre todo en Galicia, contrastando con lo entero de la costa portuguesa, como la de Gerona lo hace con casi toda la mediterránea, hasta llegar a la sierra del cabo de Gata.

Sedimentación.—El desecho de las rocas continentales que los ríos acarrean y el de las costas operado por la acción de las olas se va disgregando en el mar en dos partes: los cantos, la grava y las arenas gruesas se depositan cerca de las costas y, especialmente, en los puntos donde la agitación de las olas se amortigua; los materiales más finos, como las arenas tenues y arcillas, flotan primero y caen lentamente en el fondo. Allí se van disponiendo unos y otros en capas horizontales, a cuyo proceso se llama *sedimentación*.

Hemos visto anteriormente que las substancias conducidas al mar por los ríos eran, unas, insolubles y, por lo tanto, transportadas por mero arrastre, en tanto que otras emigraban en estado de disolución. Las primeras se depositan cuando cesa la fuerza que las impulsa, o se van posando lentamente, si son partículas ligeras, originando depósitos que se dice son de *sedimentación mecánica*, al paso que los de las segundas son de *sedimentación química*, esto es, que se precipitan a consecuencia de la concentración local de sus disoluciones, y, sobre todo, por cambiarse en cuerpos insolubles; proceso este último debido principalmente a la acción de los organismos marinos, como explicaremos en breve.

Son rocas de sedimento mecánico, las arcillas, las arenas y los

lechos de grava y cantos; mientras que, por el contrario, las calizas, el yeso y la sal gema son de sedimento químico. Las rocas, que, como ciertas areniscas, conglomerados y brechas, se componen de granos o fragmentos de diverso volumen, cementados por carbonatos de cal, magnesia o hierro, reconocen un origen mixto, en parte químico y en parte mecánico.

Las rocas de origen químico van adquiriendo consistencia a medida que se forman; pero no así las constituidas mediante la acumulación de detritos o partículas, las cuales se convierten en masas coherentes por acciones posteriores, como es la del peso que ejercen unas sobre otras y el relleno mecánico o químico de los espacios que existían entre los granos, al modo como se endurece el suelo terroso cuando hiela, por quedar cementadas sus partículas por agua solidificada.

Aguas subterráneas.—Hemos visto la acción geológica ejercida por la parte del agua de lluvia que corre por la superficie y va a parar a los mares; tócanos ahora ocuparnos de la que penetra en el suelo.

Las rocas terrestres se conducen en este respecto de muy distin-

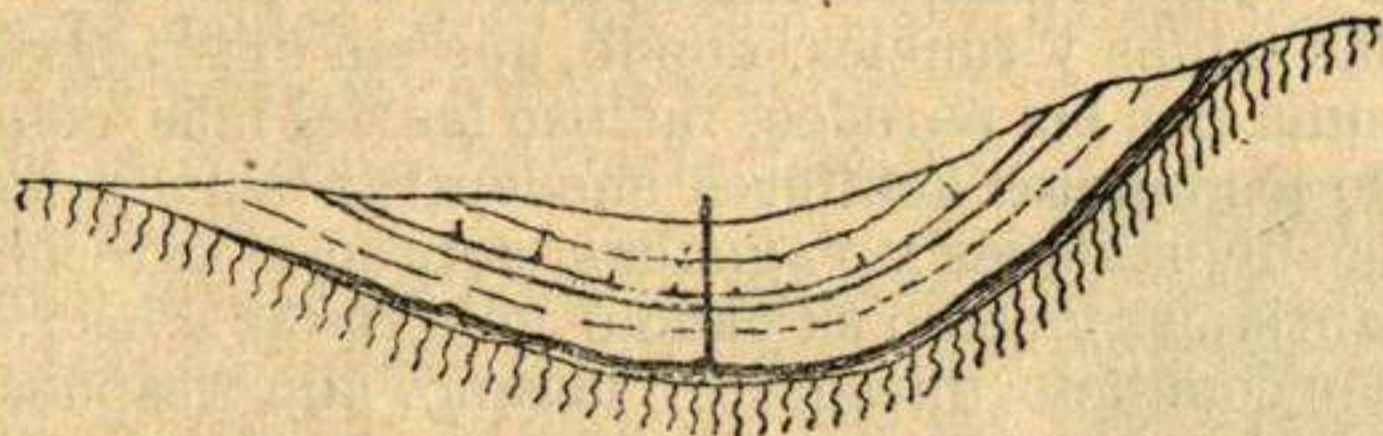


Fig. 9.^a—Corte de una cuenca con un pozo artesiano.

to modo, pues al paso que unas se dejan atravesar perfectamente por el agua, otras le oponen una gran resistencia; las primeras se dicen *permeables*, y en este caso se encuentran las calizas, las areniscas y la mayor parte de las rocas en masa, cuando están descompuestas; las segundas son *impermeables*, como las arcillas, entre las de origen sedimentario, y las rocas cristalinas y las pizarras de tejado mientras se conservan sin alteración.

Supongamos que en una región exista una capa permeable o una serie de ellas que descansen sobre una impermeable (fig. 9.^a), y se comprenderá que el agua de lluvia, filtrándose, llegue a la superficie de la segunda, representada en la figura por las líneas en zigzag, y se deslice sobre ella, siguiendo su pendiente; se acumulará en los huecos que halle a su paso, y una vez llenos éstos, saldrá de nuevo al exterior, si encuentra en su camino solución de continuidad cuyo límite superior esté más bajo que la zona de filtración. Tal es el origen de los depósitos líquidos subterráneos y de las fuentes o manantiales.

En los pozos ordinarios sólo se busca alguna capita de agua de las que existen a pequeña profundidad, y un lecho impermeable, o poco permeable al menos, que sirva de fondo, sobre el cual se vaya

acumulando el líquido que escurre por las paredes del pozo, líquido que puede sacarse luego con ayuda de cubos o de bomba. Pero hay otros, los *pozos artesianos*, para los que es preciso dar con un manto de agua corriente sobre un lecho de roca impermeable, para que, al llegar por la perforación a dicho manto, el líquido se eleve por encima del nivel del suelo. Como fácilmente se comprende, en vista de la figura precedente, es condición necesaria, para obtener uno de estos pozos, que exista una capa impermeable de grande extensión, la cual se levante poco a poco en todas direcciones hasta un nivel superior al del punto de perforación, por el cual surgirá, según la teoría de los tubos comunicantes que explica la Física, una columna de agua que se lanzará hasta una altura poco menor que la que alcanza la capa impermeable en su parte más alta. En los alrededores de París, sondando hasta los 550 m. de profundidad, se obtiene un surtidor capaz de elevarse 72 a 73 m., es decir, 40 por encima de la planicie de los aluviones del Sena.

Acción de las aguas subterráneas; cavernas.—El agua de lluvia que penetra del modo indicado en las capas subterráneas origina una red que circula, sobre todo en las zonas superficiales, en términos de tenerlas verdaderamente empapadas. De ello hay una buena prueba en las minas y túneles, donde, aun sin existir grieta alguna, el agua rezuma por las paredes, incluso las del más compacto granito. Cuando los mantos acuíferos encuentran soluciónes de continuidad en las depresiones y vaguadas, surgen al exterior, constituyendo manantiales, y como su caudal va a parar a los ríos, éstos no se agotan por completo durante el verano, aun después de largas temporadas de sequía.

En su trayecto subterráneo, las aguas ejercen acciones modificadoras, tanto mecánicas como químicas, al modo que hemos visto lo hacían también las superficiales. Por virtud de la erosión se fragan galerías y espacios vacíos, corriendo por las primeras en forma de ríos subterráneos y rellenando los segundos, originando lagos y mantos. A menudo, la penetración de las aguas de lluvia en el subsuelo es causa de movimientos que afectan al relieve exterior; éstos pueden ser hundimientos o deslizamientos del terreno en el flanco de los valles y socavamientos que dan origen a simas en la superficie, cuando la masa de roca substraída por las aguas es tan considerable, que, falta de sostén, el techo se desploma en la cavidad, produciéndose grandes sacudidas y temblores de tierra.

Las materias que disuelven las aguas subterráneas dan lugar a la mineralización de los manantiales, que depositan muchas veces carbonatos y otras substancias al correr al exterior. También atacan a los sulfuros por la acción del oxígeno que disuelven, haciéndolos pasar a sulfatos solubles.

En el seno de las rocas yesosas, y sobre todo calizas, que las aguas pueden ir transportando en disolución, sin que la masa general se desmorone, llegan a formarse cámaras que comunican entre sí por medio de túneles o hendiduras, y son las llamadas *ca-*

vernas o *grutas*. El líquido aprovecha, para realizar su obra, las grietas del terreno, es decir, las líneas de menor resistencia, las cuales va ensanchando por la continuada acción disolvente. Así en muchas cavernas se ven en su techo grietas alineadas según su dirección longitudinal, y por su suelo corre a veces un arroyo, y hasta un río subterráneo, al cual la caverna sirve de cauce. Las paredes, y no pocas veces el terreno, suelen estar tapizadas de incrustaciones calizas, obra del agua más o menos carbónica, filtrada lentamente, llevando bicarbonato de cal en disolución, pero que al perder en contacto del aire de la gruta una parte del ácido carbónico, el bicarbonato pasa a carbonato insoluble, es decir, a carbonato de cal neutro, que en forma de finas películas queda adherido al revestimiento de la cavidad, y si son gotas que se desprenden del techo, acumulándose unas sobre otras, dichas películas acaban por constituir un cono pendiente de la bóveda, llamado *estalactita*. Escurriendo de ésta gotas de agua, no despojadas del todo de sus sales calizas, caen al suelo, y allí van fabricando otra formación cónica, pero cuyo vértice mira a la parte superior, y se llama *estalagmita*, y si se reúnen al fin los dos conos, se produce una columna, que servirá para dar solidez y evitar el desplome de la caverna fraguada por las aguas subterráneas.

Se conocen grutas de éstas en todas las regiones calizas del globo, y nada más admirable que el aspecto de algunas, por la magnificencia de sus inmensos salones y la belleza de sus estalactitas y columnas, simulando el todo colosales catedrales góticas. La formación más notable de este género que existe, parece ser la caverna del Mamut, en Kentucky: tiene muchas galerías, cuyo desarrollo total pasa de 40 Km., y encierra un sistema completo de lagos y ríos en diversos pisos. Son también notables por su belleza y magnificencia las de Artá, en la isla de Mallorca (fig. 10); la de Bellamar, en la isla de Cuba, de estalactitas diáfanas y transparentes como el cristal, según acontece también en las de San Valerio, en Mondragón (Guipúzcoa). Algunas cavernas son muy reputadas, porque, habiendo servido de refugio a las fieras de la época cuaternaria y al hombre prehistórico, han proporcionado restos de ambos, enterrados bajo el lecho estalagmítico que cubre el suelo de dichas cavidades.

Agua en estado sólido.—En este estado contribuye el agua también de un modo importantísimo a los trabajos de destrucción de las rocas que hemos visto operan las corrientes líquidas continentales.

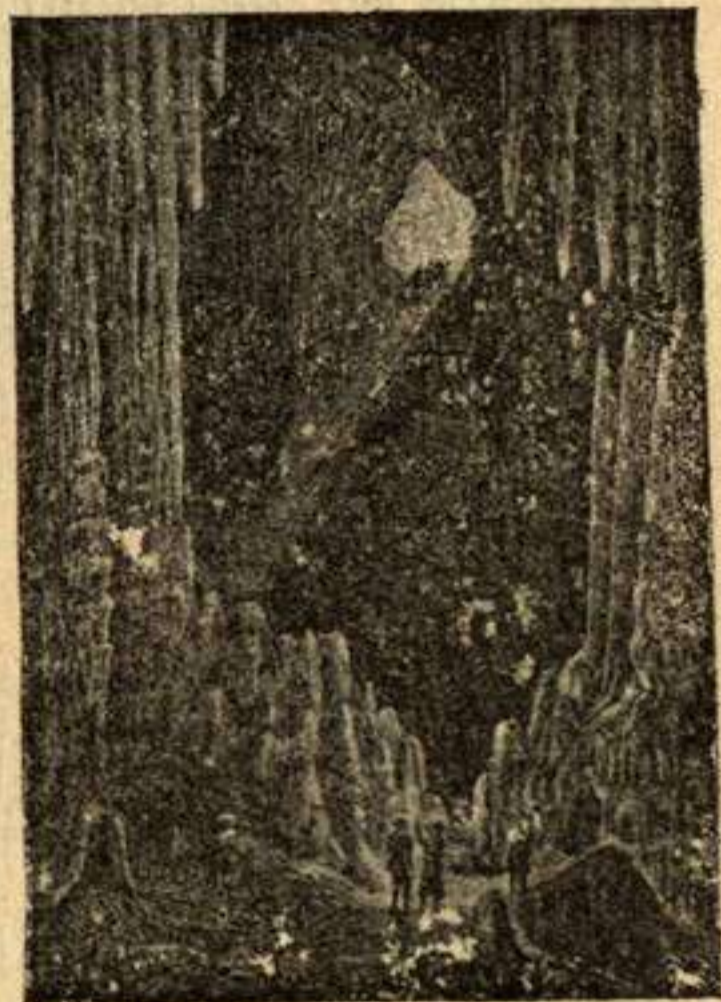


Fig. 10.—Un salón de la cueva de Artá, en Mallorca.

Cuando el agua que penetra en los poros o cavidades de las rocas, o por las grietas de ellas, se congela en invierno, aumenta de volumen, sus moléculas se rechazan unas a otras en todas direcciones al verificarse la solidificación, con una energía tal, que las materias más compactas y tenaces tienen que ceder a la presión producida y hendirse en pedazos, los cuales quedan así a merced de los demás agentes destructores.

Nieves.—Las precipitaciones atmosféricas que se realizan en una zona en que la temperatura es inferior a 0° toman la forma de *nieve*. Si la temperatura no se eleva a más, cristaliza, generalmente, en agrupaciones elegantes de estrellas de seis radios, que suelen representarse en las obras de Física tal cual aparecen vistas al microscopio.

Por lo que se refiere a la nieve que durante más o menos tiempo cubre el suelo hasta de las regiones bajas en las zonas frías, y de las templadas muchas veces, es escasa su influencia geológica, y obra más bien como un agente de conservación que de destrucción de las rocas que cubre; únicamente cuando el deshielo sobreviene con extremada rapidez puede ser causa de crecidas de los ríos tan repentinas y considerables, que, saliéndose éstos de madre, causen estragos en las comarcas que recorren. En las montañas cubiertas de nieve suele ocurrir que una masa pequeña en su origen, desprendiéndose de la cumbre, baja rodando y engrosando en su camino por la adición de la nieve que se va adhiriendo a su superficie, como sucede con las bolas que forman los niños en invierno en los países fríos, y descendiendo precipitadamente por las pendientes, adquiere gran volumen, pudiendo destruir árboles, casas, y hasta pueblos enteros, volcando los peñascos que halla a su paso. Tal es el fenómeno de los *aludes*, tan frecuente como temido en ciertos países.

Nieves perpetuas.—Existe en todas las regiones del globo una altura a partir de la cual las precipitaciones atmosféricas sólo pueden efectuarse en forma de nieve, la cual se conserva sin derretirse merced al frío y la falta de presión. Este límite de las llamadas *nieves perpetuas* se halla en nuestras latitudes encima de los 3.000 metros y desciende en las regiones polares hasta el nivel del mar, al paso que en el ecuador está situado a más de 5.000 m. de altura, dependiendo esto del poder calorífico del Sol determinado por la latitud, pero variando notablemente en un mismo paralelo con las circunstancias locales.

Glaciares.—En las altas regiones donde, en vez de derretirse prontamente, la falta de calor y de presión hace se almacenen las nieves perpetuas, su excedente es solicitado hacia las partes inferiores, y así los campos de nieve dan origen a los glaciares, poderosos instrumentos de la dinámica terrestre de que vamos a ocuparnos.

Considerado en conjunto, un *glaciar* es una masa de hielo que nace en lo alto de los campos de las nieves perpetuas y se extien-

de por las cañadas de las montañas, hasta el nivel inferior, en que una temperatura más elevada determina la fusión del hielo y su transformación en un torrente líquido (fig. 11).

Hay glaciares en la región central y septentrional de Europa, Asia y América. Algunos alcanzan considerable extensión; el mayor de los Alpes mide 27 Km. de longitud, y en el Himalaya hay alguno que pasa de 100. El espesor de las bancas de hielo excede de 300 metros en ocasiones.

Hielo de los glaciares.—La nieve que cae en las altas cimas, por la acción del calor se funde en parte, para volver a congelarse

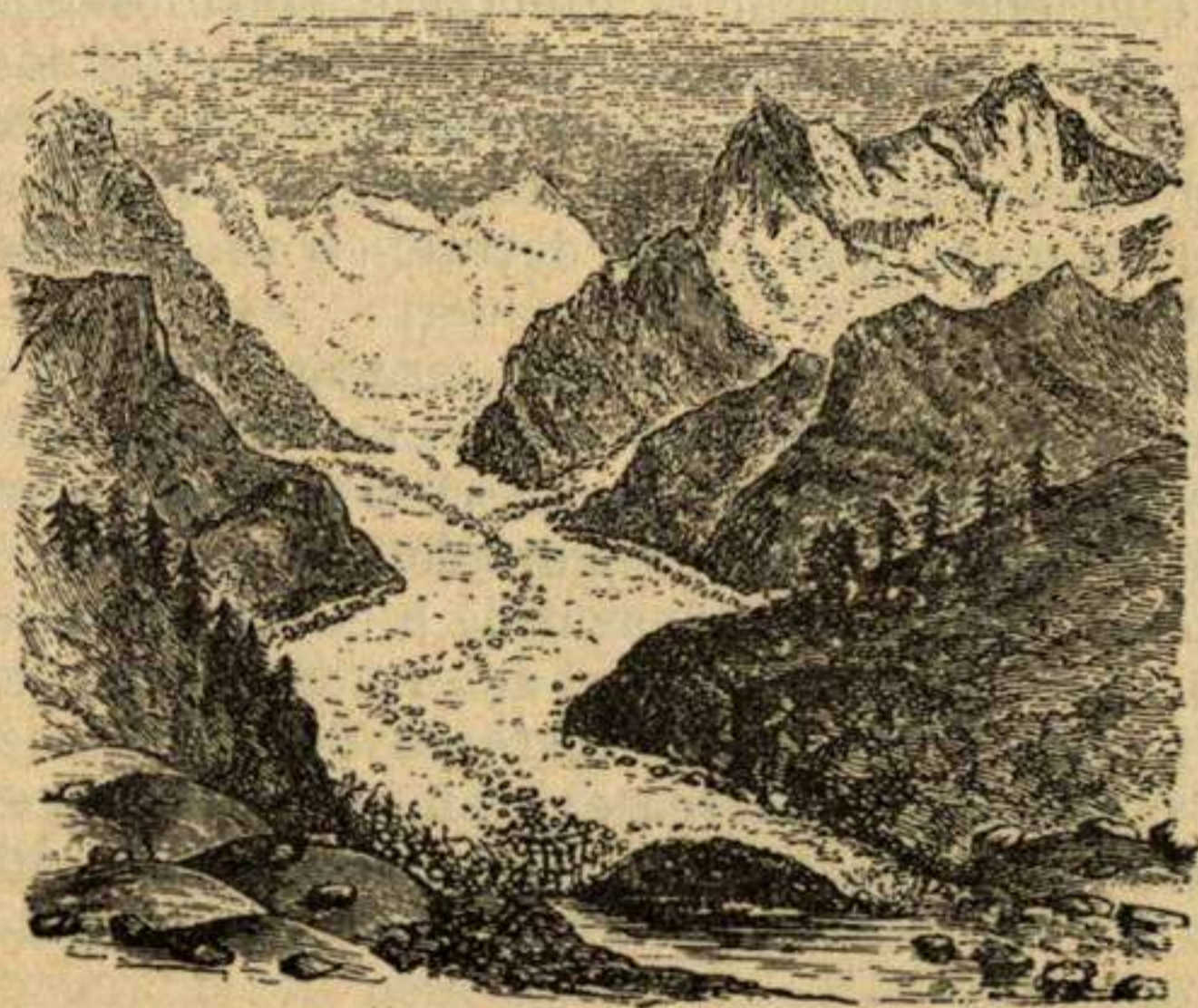


Fig. 11.—Vista de un glaciar.

con el enfriamiento nocturno, desapareciendo su forma estrellada y convirtiéndose en granos de hielo; al mismo tiempo, las gotitas de agua procedentes de esta fusión circulan entre los intersticios de los granos, hasta que se hiela el líquido y los cementa, lo cual, junto con la presión que la masa soporta, acaba por transformarla en un hielo opaco, lechoso y lleno de burbujas de aire, que es el *hielo de los glaciares*.

Marcha de los glaciares.—La experiencia había enseñado de antiguo a los habitantes de las altas regiones de Suiza que las bancas de hielo, no obstante su aparente inmovilidad, caminan en el sentido de la pendiente de los glaciares. Este movimiento regular y continuo no suele exceder de 30 cm. por día, término medio; así es que para hacerle perceptible se imaginó clavar estacas en el hielo frente a objetos fijos conocidos, y examinándolas al cabo de una o dos semanas, se pudo comprobar su avance, y, además, se observó con sorpresa que las estacas clavadas en el centro habían adelantado más que las de los costados, como sucede en la corriente

de un río, el cual va, naturalmente, animado de más velocidad en el medio que en las orillas.

Marchan, en efecto, los glaciares desde las altas cimas a los valles inferiores por el cauce de las gargantas de las montañas, adaptándose a las superficies de ellas y acomodándose a sus sinuosidades, al modo que lo haría una corriente líquida, lo cual no sería posible si no fuera por la plasticidad de que goza el hielo, a pesar de su gran fragilidad. El sabio físico inglés Tyndall ha probado que, rompiendo el hielo en fragmentos, éstos tienen la propiedad de volverse a soldar, si están en contacto y sus superficies bañadas por una capa líquida a una temperatura de 0° ó próxima a ella (rehielo). Así se comprende que, encontrando el glaciar obstáculos o teniendo que girar en estrechas gargantas, aunque su masa se hienda, produciéndose grietas o roturas, que a veces son simas de muchos metros de profundidad, en virtud del rehielo, favorecido por la enorme presión ejercida por la masa que viene detrás, se recomponga, siguiendo entero su camino.

Límite inferior.—A una elevación mayor o menor, según la latitud, se encuentra el límite inferior del glaciar; en los Alpes alcanza a niveles relativamente bajos, incluso los 1.000 m. sobre el nivel del mar, en donde ya impera una vegetación lozana, que contrasta con el aspecto polar que aquellas masas de hielo comunican a los valles. Allí donde la temperatura del aire determina, como queda dicho, la fusión del hielo, se origina un torrente de agua mezclada con el barro y las piedras que acarrea el hielo, el cual, cayendo al valle, constituye en él un lago, en el que se remansa el líquido y precipita las impurezas que le acompañaban, de modo que sale límpido por el extremo opuesto.

No son, pues, los glaciares masas inmóviles de hielo, como pudiera creerse, sino que nacen en las regiones de las nieves perpetuas y siguen su camino hacia los valles, por lo cual se ha dicho, con razón, que son verdaderos ríos helados, hasta que llegan al límite inferior, donde se transforman en cascadas.

Morrenas y cantos erráticos.—Las piedras desprendidas de las laderas de los valles que ocupa el glaciar caen sobre éste, y, además, el hielo, por su plasticidad, engloba en los bordes los cantos, gravas y arenas que encuentra a su paso, y que abandona en otros sitios. Así se forman acumulaciones de detritos rocosos a los lados, bajo el glaciar, y, sobre todo, en su límite inferior, que lleva el nombre de *morrenas* o *canchales*, distinguiéndose, según su posición, en laterales y terminales (1). Cuando las corrientes que bajan por dos o más gargantas se unen en una sola, los canchales de sus bordes pasan al centro de esta última, formando hileras de

(1) Las morrenas son aglomeraciones de cantos angulosos y barro, que ocupan variables y a veces considerables extensiones. Esto último es efecto de que la cantidad de nieve que cae en las alturas es más considerable unos años que otros y según los períodos de éstos, y, por tanto, el límite del glaciar unas veces avanza y extiende su carga más abajo en el valle, y otras retrocede y la deja más arriba.

pedras que indican las líneas de soldadura de aquéllas. A veces, grandes trozos de piedra precipitados sobre la masa del glaciar viajan así con él sin sufrir desgaste alguno hasta grandes distancias. Tales son los *cantos erráticos*, que, al fundirse el hielo que les sirvió de vehículo, quedan sobre el suelo y frecuentemente en medio de rocas totalmente distintas de ellos, como el que representa la figura 12. Las piedras que, por ocupar los lados o la base del glaciar, han frotado por una de sus caras contra las rocas del cauce presentan una forma de desgaste particular, que las distingue de los cantos rodados de los ríos y de las piedras arrastradas por los torrentes; dicho desgaste está circunscrito a las caras donde ha habido frotamiento, las cuales quedan alisadas y suelen ofrecerse en ellas estrias paralelas originadas por la fricción (fig. 13). Al mismo tiempo arrastra el glaciar una gran cantidad de materiales menudos y pulverulentos, que forman con el agua, en el punto de fusión, un barro particular.



Fig. 12.—Mole errática de granito, procedente del Mont Blanc y varada junto a Neufchatel.

A beneficio de la enorme presión que la masa de hielo ejerce sobre el cauce que recorre, y con ayuda de los cantos y arenillas engastados en él, redondea, pule y estria las rocas por entre las cuales camina, dejando así señales indelebles de su paso. En la figura 11 van representadas, en primer término, algunas rocas desgastadas y bruñidas de este modo. La existencia de ellas, la de peñascos transportados a considerable distancia sin haber rodado, y la de moles y cantos erráticos estriados en algunas de sus caras, han servido a los geólogos para inducir el paso de glaciares en otras épocas, aun en sitios donde hoy no existen, o en donde están ahora confinados a las alturas, después de haber ocupado extensiones inmensamente mayores que en nuestros tiempos.

Es el glaciar, por consiguiente, un agente poderoso, tanto de erosión como de transporte.

Mantos de hielo.—Como hemos dicho, el límite de las llamadas nieves perpetuas se halla en las regiones árticas al nivel mismo del

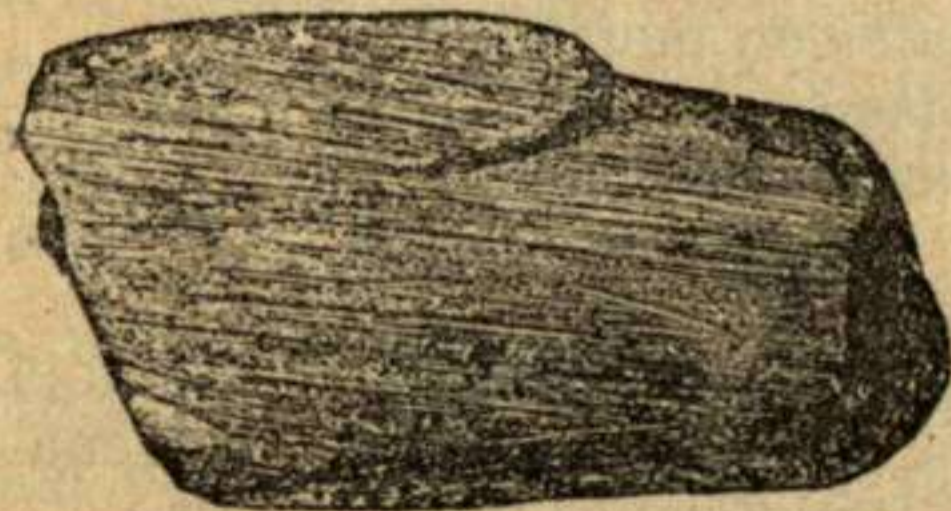


Fig. 13.—Canto errático estriado.

mar; así es que en ellas la superficie entera del suelo está cubierta de una coraza o *manto de hielo* constante. Casi toda la Groenlandia se halla vestida por uno de estos casquetes glaciales, que no permite ver nada del suelo, formando el hielo mesetas elevadas,

de profundidad desconocida, pero que se alzan a más de 2.000 metros de altura sobre el mar. En la proximidad de éste, dicha costra acaba por entrar en el agua, y la porción que penetra en el líquido, siempre más caliente ($+ 4^{\circ}$ en el Spitzberg), se derrite en la base, además de que tiende la parte sumergida a flotar, por todo lo cual se rompe según líneas paralelas a la costa, quedando así témpanos libres, a veces enormes, que flotan y emigran, constituyendo las *montañas e islas de hielo*. Viajan éstas a merced de las corrientes, constituyendo un gran peligro para la navegación, hasta que, llegando a mares más templados, se funden, descargando a la par en las costas la masa de piedras y tierra que acarreaban.

3.º AGENTES BIOLÓGICOS

Entre los agentes que contribuyen y han contribuido poderosamente en épocas anteriores a realizar cambios geológicos, figuran, ocupando importante lugar, los organismos vivos.

Acción destructora de los organismos.—Mecánicamente ejercen gran papel las raíces de los vegetales, penetrando en forma de filamentos casi microscópicos por las grietas, aun las más estrechas, de las rocas, y actuando, por su crecimiento sucesivo, como cuñas, siendo capaces de quebrantar todas las piedras, sin exceptuar las más voluminosas. Esta acción es enteramente comparable a la del hielo, pero más universal, pues se extiende a todos los climas, a todas las alturas y se insinúa mucho más profundamente que aquél en el seno de las piedras. Se ha demostrado que las raíces de las plantas espontáneas han cooperado, en mayor medida que todos los agentes meteorológicos y que los hombres, a pesar de las guerras, a la ruina de los monumentos de la antigüedad, así en el Antiguo como en el Nuevo Mundo.

Químicamente, actúan con energía grande los ácidos orgánicos que se producen en el suelo por la muerte de los vegetales. Estos ácidos, por su tendencia a la oxidación, desempeñan un poderoso papel reductor, merced al cual los sulfatos metálicos se convierten en sulfuros, y ulteriormente, estas sales en metales nativos.

Acción edificadora de los organismos.—Las plantas y los animales contribuyen a constituir nuevas formaciones, ya por la agrupación de sus restos, ya por las acciones químicas que éstos ejercen.

Vegetales terrestres.—En primer lugar obran éstos purificando la atmósfera, y después, muchas veces, siendo causa de almacenamientos de carbono, que dan lugar a formaciones importantes.

La respiración de los animales, las descomposiciones orgánicas, y en muchos casos los desprendimientos de anhídrido carbónico, que se producen por las grietas de los terrenos y en las erupciones de los volcanes, modificarían la composición del aire, hasta hacerle irrespirable para nosotros, si los vegetales no obrasen como continuos reguladores, descomponiendo, bajo la influencia

química de la luz, el anhídrido carbónico de la atmósfera, para asimilarse el carbono y desprender el oxígeno.

Cuando los vegetales mueren y sus restos quedan al acceso del aire libre, entran en putrefacción, y el carbono de sus tejidos se transforma de nuevo en anhídrido carbónico, que se desprende; pero cuando la descomposición se verifica fuera del acceso de la atmósfera, una parte del carbono se combina con el hidrógeno y da origen a las manifestaciones que estudiaremos a continuación, y otra permanece sin combinarse, porque el oxígeno y el hidrógeno que la acompañan son eliminados con mucha más facilidad que dicho cuerpo; en el transcurso del tiempo, apenas queda de los componentes de la planta más que el carbono, siempre que la alteración de ella se opere bajo sedimentos. Así han llegado a originarse esos grandes depósitos de carbón de piedra o hulla que hoy explota la industria a expensas de los restos enterrados bajo el barro de la vegetación de las gigantescas cicadáceas, helechos y coníferas de la época carbónica.

En la actualidad se forman lechos carbonosos en las charcas y grandes llanuras pantanosas de abundante vegetación herbácea y en parajes elevados. Las plantas que allí crecen y que el calor deseca en estío dejan cada año una capita muy tenue de sus restos preservados del aire por la arcilla y la vegetación nacida después, y en el transcurso del tiempo, las capas sucesivas acaban por componer lechos de mucho espesor. Tal es el origen de la *turba*, o carbón contemporáneo, en cuyo seno se encuentran a veces troncos enteros de árboles, restos óseos de animales, y aun de la industria humana; en algunas costas se produce por la acumulación de algas enterradas bajo el limo marítimo, como sucede en el mar del Norte, constituyendo para Holanda un combustible tan útil como lo es para Inglaterra su carbón de piedra.

Hay un carbón intermedio entre la hulla y la turba, por la proporción de carbono que contiene y por su edad geológica: es el lignito, el cual conserva la estructura y, con frecuencia, la apariencia de la madera, y debe reconocer un origen análogo al de las turbas actuales, sólo que procede de despojos de tallos y ramas de vegetales arbóreos, en vez de hacerlo de hierbas de escaso porte, como aquéllas.

Se comprende fácilmente que, en igualdad de circunstancias, los combustibles fósiles sean tanto más ricos en carbono cuanto más antigua es su edad, puesto que esta riqueza resulta de la eliminación de los cuerpos volátiles, la cual se hace muy lentamente bajo el suelo. Así, el carbón de piedra de la época carbónica tiene más carbono que el lignito, que es de edad secundaria o terciaria, y éste, más que la turba, contemporánea.

Desprendimientos de gases por descomposiciones orgánicas.—La fermentación de las materias vegetales enterradas en el suelo, de que ahora hablábamos, cuando éstas son abundantes, puede dar lugar a manifestaciones eruptivas en las tres formas siguientes:

1.º Gases fétidos y combustibles que se desprenden en burbujas del agua en que salían disueltos. Cada burbuja lanza una pequeña cantidad de barro húmedo salado, y en ocasiones con betunes minerales, cuyo barro va formando unos pequeños conos alrededor de los orificios de salida, que se llaman *volcancitos*, *macalubas* o *volcanes fangosos*. Los citados gases consisten principalmente en una mezcla de carburos de hidrógeno diversos, anhídrido carbónico y gas sulfhídrico. Hay volcancitos de esta especie en Islandia y Sicilia, en las orillas del mar Caspio y también en Cádiz y Sevilla (Morón), en cuyas últimas localidades se ven algunos todavía en actividad al lado de otros mucho más considerables ya extinguidos.

2.º Desprendimientos de gases, y entre ellos algunos combustibles, pero no acompañados de barro, que constituyen las llamadas *fuentes de fuego* de Persia y Pensilvania principalmente; estas emanaciones están relacionadas con los depósitos y emisiones de pez mineral y petróleo, como sucede en el mar Muerto o antiguo lago Asphaltites y en las localidades antes citadas.

3.º Por último, emisión de anhídrido carbónico no acompañada de barro ni de gases combustibles por las grietas del terreno, originando una atmósfera irrespirable, o aguas acídulas, como las de Caldas de Oviedo, Marmolejo, Solán de Cabras, Alange, etc.

Plantas acuáticas.—Las algas realizan en el seno de las aguas el mismo papel purificador con respecto al aire disuelto en el líquido que las áreas con el atmosférico, y gracias a aquéllas es posible la vida de los animales acuáticos.

También ciertas algas gozan del poder de extraer la cal, la magnesia, la sosa y otros componentes del agua de mar, purificándola y originando verdaderos depósitos, sobre todo de caliza, como sucede en la bahía de Nápoles; pero es particularmente interesante el papel que ejercen las diatomáceas, separando sílice de las aguas, tanto dulces como saladas. Son éstas unas algas que consisten en individuos microscópicos, como particulillas independientes de protoplasma encerrado en una tenue y elegante envoltura silícea. Cuando la diatomácea muere, su materia orgánica se descompone y desaparece, quedando sólo los estuches, que son de una completa inalterabilidad y que, asociándose por millones, acaban por constituir rocas silíceas compactas. Hay estuarios donde la acumulación de sus restos es tan prodigiosa, que llega a disminuir la profundidad del fondo y cerrar los puertos. Ehrenberg, el famoso iniciador de los estudios micrográficos, estimaba que en el puerto de Wismar, en el Báltico, se depositaban anualmente más de 500 m³ de estos organismos silíceos. Así se han constituido los depósitos diatomíferos, tanto de sílice hidratada pura, que se llama *tripoli*, como de mezcla de ella con caliza o arcilla, entre los cuales el de marga diatomífera de Morón, en la provincia de Sevilla, es el mayor que se conoce en el mundo.

Animales terrestres.—Los restos esqueléticos de los animales terrestres, aprisionados en gran cantidad en el barro de los anti-

guos pantanos o del interior de las cavernas, ha dado lugar en muchos sitios a *brechas huesosas*, muy ricas en fosfatos.

El guano es un producto de acumulación durante siglos de los excrementos de inmensas bandadas de aves costeras que acostumbran a reunirse en ciertas islas. Tal sucede en las islas Chinchas, en la costa del Perú, y en otras del Africa meridional, donde la sequedad del clima permite su conservación. Estos depósitos consisten principalmente en materia orgánica y sales amoniacaes con un 20 por 100 de fosfato de cal, y se estiman mucho como abono.

Animales marinos.—Sabemos que los ríos están transportando al mar cantidades de yeso y bicarbonato de cal que resultan considerables en el transcurso del tiempo, y, sin embargo, el agua de aquél contiene siempre la misma proporción de dichos cuerpos, los cuales componen apenas una décima parte de la que puede disolver. Este equilibrio se mantiene, principalmente, gracias a aquellos animales que pueblan el mar y cuyo cuerpo blando está protegido por esqueletos resistentes externos o internos producidos a expensas de las sales de cal disueltas en el líquido en que moran. En este caso se hallan muchos pólipos y moluscos, los equinodermos (estrellas y erizos de mar) y los diminutos foraminíferos, todos los cuales trabajan eficazmente en esta obra maravillosa, por cuya virtud el agua clara se transforma en roca sólida del modo que vamos a ver a continuación.

1.º En todos los mares, pero particularmente en los calientes, viven algunas especies de pólipos o corales que se fabrican esqueletos calizos, los cuales, merced a su crecimiento continuo, pueden constituir en el transcurso del tiempo vastas masas de rocas; en las partes más cálidas del globo y donde las corrientes ecuatoriales les suministran bastante materia alimenticia, es donde pululan especies particulares en colonias de infinidad de individuos. Siendo muy sensibles estos seres a la temperatura, su extensión está limitada entre los 20 y los 26º. Dejan de vivir por debajo de los 37 metros, necesitando, además, aguas muy claras. En el Pacífico hay una vasta región que ocupa unos 50.000 Km² y en la que se cuentan cerca de 300 islas de coral (entre ellas los archipiélagos de Palaos, Marianas y Carolinas), además de las formaciones submarinas que se extienden en torno de ellas; existen igualmente en el océano Indico y en el mar Rojo, siendo notable el gran arrecife de la Australia, que alcanza 1.200 millas de largo y de 10 a 90 de ancho.

Construyen las colonias de estos pequeños animales arrecifes costeros o submarinos, los cuales son a veces un gran peligro para la navegación, barreras separadas de la costa más próxima por un estrecho, y que ordinariamente están dispuestas en círculos en torno de una isla, e islas coralinas, unas, elevadas sobre el nivel del mar, y otras, cuya cumbre ha desaparecido, quedando de forma redonda u oval, a veces completamente cerradas y rodeando un espacio, el cual aprisiona una porción de agua, constituyendo una laguna interior (fig. 14). Esta laguna separada del mar posa

sus sales, y enriquecida con la lluvia, es de agua perfectamente dulce.

Darwin y Dana han comprobado que el crecimiento de los coraliarios constructores varía entre una o dos pulgadas y media cada siete años, y por tanto, arrecifes como el de la Florida han tardado mil a mil doscientos años en elevarse desde la profundidad en que tienen su cimiento. Los arrecifes de coral que crecen frente a un banco submarino o una línea de costa van avanzando hacia éstos, hallándose al exterior los individuos vivos, mientras que en el centro la masa consiste en corales muertos, cuyos intersticios se

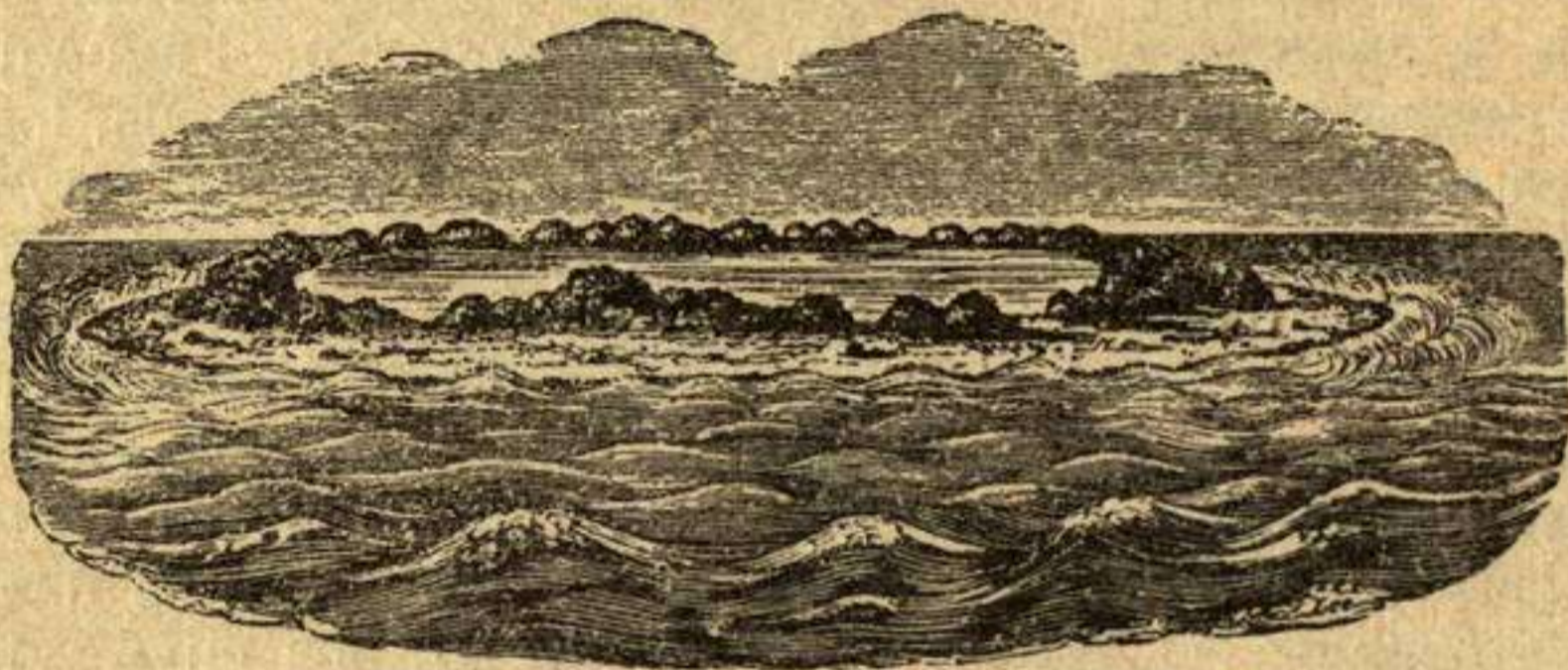


Fig. 14.—Isla de coral. *ó atoll*

rellenan de caliza blanca compacta, merced a la filtración del agua que deposita carbonato, al modo como hemos dicho se originan las estalactitas. Por otra parte, las rompientes que baten las formaciones coralinas reducen a arena y barro calizo las partes salientes de ellas, y cementándolas después, ayudan a la consolidación de la roca. El hallarse las cimas de algunas de estas islas elevadas sobre el nivel del mar, prueba que el fondo de éste ha sufrido movimientos de ascenso, de que nos ocuparemos más adelante.

2.º Ciertos moluscos marinos descomponen también grandes cantidades de sales calizas disueltas en el líquido en que moran, transformándolas en el carbonato insoluble de sus caparazones; las ostras, las almejas, mejillones y conchas de peregrino son las más eficaces en este proceso de purificación, pero muy particularmente las primeras, cuyos bancos alcanzan a veces enorme espesor. Otro tanto realizan los equinodermos, y especialmente los erizos y estrellas de mar.

3.º Existen, además, otros agentes animales que no llaman la atención como los coraliarios y los moluscos citados, ni constituyen como éstos peligros para la navegación, y, sin embargo, contribuyen en mayor escala aún que ellos a precipitar en estado insoluble las sales calizas disueltas en las aguas marinas, transformándolas en roca sólida. Nos referimos a los foraminíferos, organismos microscópicos sencillos encerrados en conchas calizas que pululan en número prodigioso en la superficie y aun a algunos metros bajo

ella. Como son seres de vida relativamente corta, sus conchas están cayendo continuamente al fondo, y en él se incorporan al lécgame que cubre éste. Tal es el origen de la creta o tiza, tanto de la antigua como de la que se forma hoy y ocupa grandes extensiones en las profundidades oceánicas. Tomando un trocito de dicha tiza y adelgazándolo por el desgaste hasta reducirlo a una lámina transparente, se ve, al microscopio, que consiste en un agregado de conchas de foraminíferos, y fragmentos de corales y de otros organismos (fig. 15).

Los moluscos y los equinodermos realizan la obra que acabamos de indicar en las costas y bahías poco profundas, los corales lo hacen ya más lejos, y los foraminíferos viven en la superficie del mar, pero todos ellos llegan al mismo resultado, que, repetimos, es el de hacer insolubles las sales calizas que, en estado de sulfatos y bicarbonatos, principalmente, aportan al mar las corrientes continentales, de cuya transformación en carbonato resultan rocas de sedimento químico, que constituyen verdaderas montañas en el transcurso de los tiempos.



Fig. 15.—Creta vista al microscopio.

También hay unos animales microscópicos, los radiolarios, cuyo esqueleto es silíceo, y al modo como las diatomáceas de que antes hablamos, aunque en menor escala, trabajan separando sílice de las aguas del mar.

Sólo añadiremos, para terminar, que los estudios oceanográficos modernos han probado que el mar está habitado en toda su masa: cubre el fondo una legión de organismos diversos (*béntos*), otra categoría es la de los seres que nadan entre dos aguas (*nécton*), y otra, la porción poblada por varios animales y algas, especialmente diatomáceas, que flota pasivamente sin trayectoria fija, arrastrados por las corrientes (*pláncton*).

4.º AGENTES ERUPTIVOS

Hasta ahora sólo hemos examinado los agentes que obran en la superficie del globo y que dependen de la actividad meteorológica y de la vida orgánica; tócanos entrar ahora en el estudio de los que, radicando en la profundidad, ejercen acciones sensibles y muy importantes sobre la zona externa del planeta.

De ellos, los llamados eruptivos están íntimamente ligados con

la dinámica externa o exógena, como vamos a ver, al paso que los orogénicos dependen de cambios seculares que el globo, en su totalidad, va experimentando en el transcurso de los tiempos.

Agentes eruptivos en general.—Hemos dicho que el agua que se infiltra por las rocas permeables o por las grietas de la corteza terrestre vuelve, en parte, prontamente al exterior, manteniendo la circulación de las aguas superficiales; pero otra parte de ella alcanza mayores profundidades, adquiriendo en éstas elevada temperatura, merced al calor que reina en el interior del globo. De esta suerte, al surgir a la superficie, lo hacen en forma de aguas termales, y a veces pasan total o parcialmente al estado de vapor, produciendo efectos explosivos.

En vista de esta dualidad de formas bajo las cuales los agentes eruptivos pueden manifestarse, se han dividido en hidrotermales y volcánicos, y a estos últimos suelen agregarse los terremotos, por estar muchos de ellos ligados, indudablemente, con el vulcanismo.

Agentes termales.—Algunas fuentes existen en todos los ámbitos del globo que manan a una temperatura elevadísima, constante e independiente de las estaciones, y son la prueba más fehaciente del calor que debe reinar a ciertas profundidades. Generalmente se llaman *caldas* en español a estos *manantiales termales*. En los alrededores de Orense se conocen muchas fuentes de esta clase, y dentro de la misma población, las célebres Burgas y el Surtidero, este último con una temperatura constante de 68,5° C., y las otras dos, no bajando de 64° a 68°. Las de Caldas de Malavella, en la provincia de Gerona, manan a 58°, y las de Montbúy (Barcelona), a 55°, siendo muy termales también las de Archena, Fitero, Alhama de Granada, de Murcia y de Aragón, entre otras. La fuente termal que da agua a mayor temperatura de todas las conocidas es la llamada «Agua de las Trincheras», en Méjico, corriente continua a 97°, o sea 3° menos de la ebullición. Poseyendo el agua caliente un poder de disolución superior al de la fría, la mayor parte de dichos manantiales aportan diferentes substancias minerales, tomadas a las rocas que hallaron en su camino, a las que deben el ser empleadas como agentes terapéuticos, no siendo raro que al abandonar estas disoluciones en la superficie del suelo originen depósitos de carbonatos de cal o de hierro, de sílice y de otras diversas materias.

En Toscana y en alguna otra región surgen, por hendiduras que hay en el suelo volcánico y dispuestas en grupos, emanaciones de vapor de agua a temperatura de 105° a 120°, formando surtidores de 10 a 20 m. de altura, llamados allí *suffioni*, es decir, sopladores. El agua que resulta de la condensación de los vapores se reúne en estanques artificiales, y como contiene ácido bórico, es objeto de explotación para obtener esta substancia, de que oportunamente nos ocuparemos.

Las manifestaciones más notables de la actividad hidrotermal

son, sin embargo, los llamados *géyseres* (1), y también *volcanes de agua* por algunos autores (fig. 16). Consisten en surtidores de agua hirviendo mezclada con vapor, que se lanzan al aire de una manera intermitente, con gran violencia, acompañados de ruidos de explosiones. El líquido a beneficio de estas condiciones trae disueltas gran número de substancias minerales. Se hallan siempre en parajes volcánicos como en Islandia, en Nueva Zelanda, en la isla de Luzón, en Filipinas; pero, sobre todo, en las Montañas Rocosas de la América del Norte existe un distrito en que estas manifestaciones sobrepujan en número y magnitud a todo cuanto se conoce en este género, pues pasan de 10.000 las bocas de erupción que se han descrito. El Géyser Gigante, que representa la figura, proyecta cada veinticuatro horas un surtidor de 2 m. de anchura por 60 de alto durante quince minutos. Mana por un brocal de paredes perfectamente pulimentadas, formado por el depósito de sílice que en estado gelatinoso abandona el líquido, así como en el arroyo que corre después, cuya substancia endurecida se ha convertido en ópalo. Otros géyseres son calizos y dan lugar en su trayecto a incrustaciones estalagmíticas blancas, que simulan glaciares vistas de lejos.

Volcanes.— Se ha dicho, con razón, que, de cuantos fenómenos naturales puede el hombre contemplar, ninguno le impresiona como los fenómenos volcánicos, lo cual depende, no sólo de su magnificencia y efectos desastrosos, sino de poner de manifiesto la actividad interna del globo.

Consisten los volcanes en grietas o aberturas que ponen en comunicación la superficie terrestre con las materias fundidas del interior. Los productos sólidos surgidos por ellos suelen acumularse, dando lugar a montañas cónicas, a las cuales se llama, generalmente, volcanes. Lo esencial de ellos es la *chimenea*, es decir, el canal por

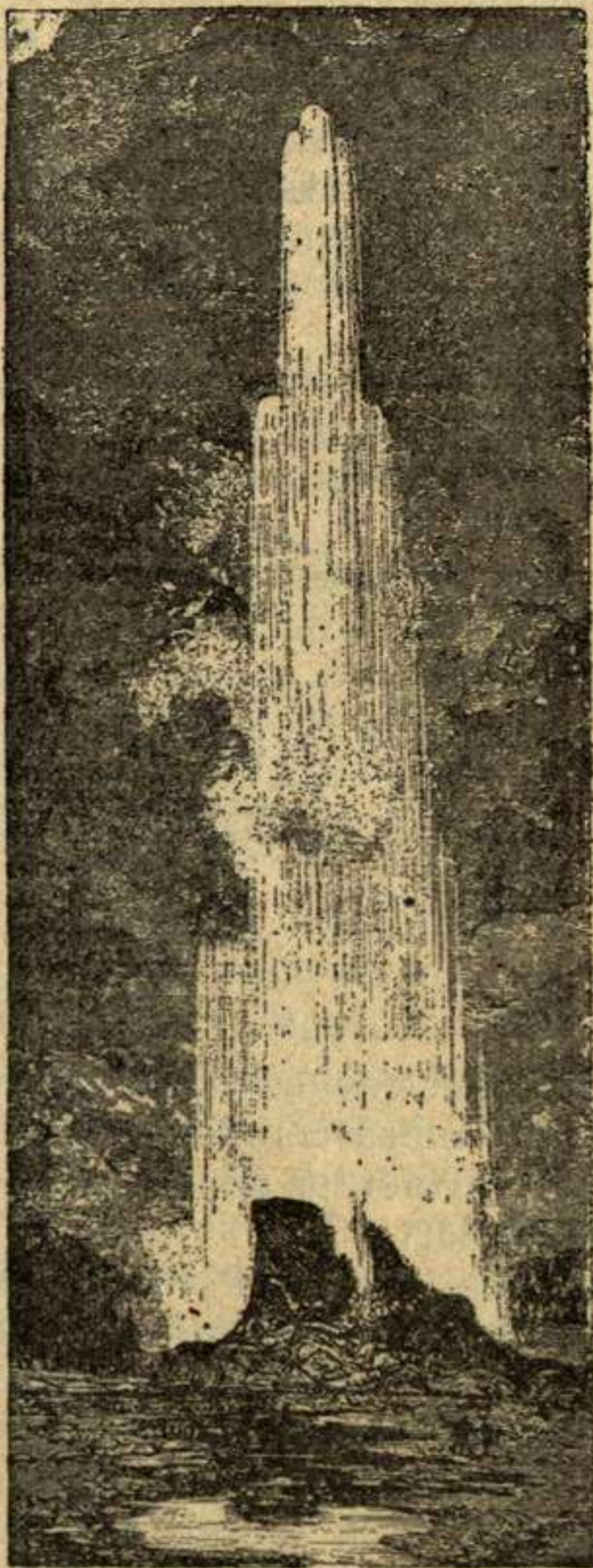


Fig. 16.—El Géyser Gigante de la América del Norte.

(1) *Géyser* es una palabra de origen islandés, que significa rugido, furia. Debe pronunciarse *gaiser*.

donde se verifica la ascensión de las materias, la *masa de materias arrojadas*, y el *cráter*, boca terminal de la chimenea, que afecta forma de embudo cuya extremidad mayor mira al exterior.

Un corte vertical de una montaña volcánica ofrecería una disposición semejante a la representada en la figura 17. Reposa esta montaña sobre las capas del suelo, que pueden estar horizontales, como indica el esquema, y, en cambio, las constitutivas del monte están fuertemente inclinadas en todas direcciones a partir del centro del volcán. Hay una chimenea principal y casi siempre otras laterales menores que terminan al exterior por cráteres. Las rocas subyacentes al volcán pueden pertenecer a cualquier edad o for-

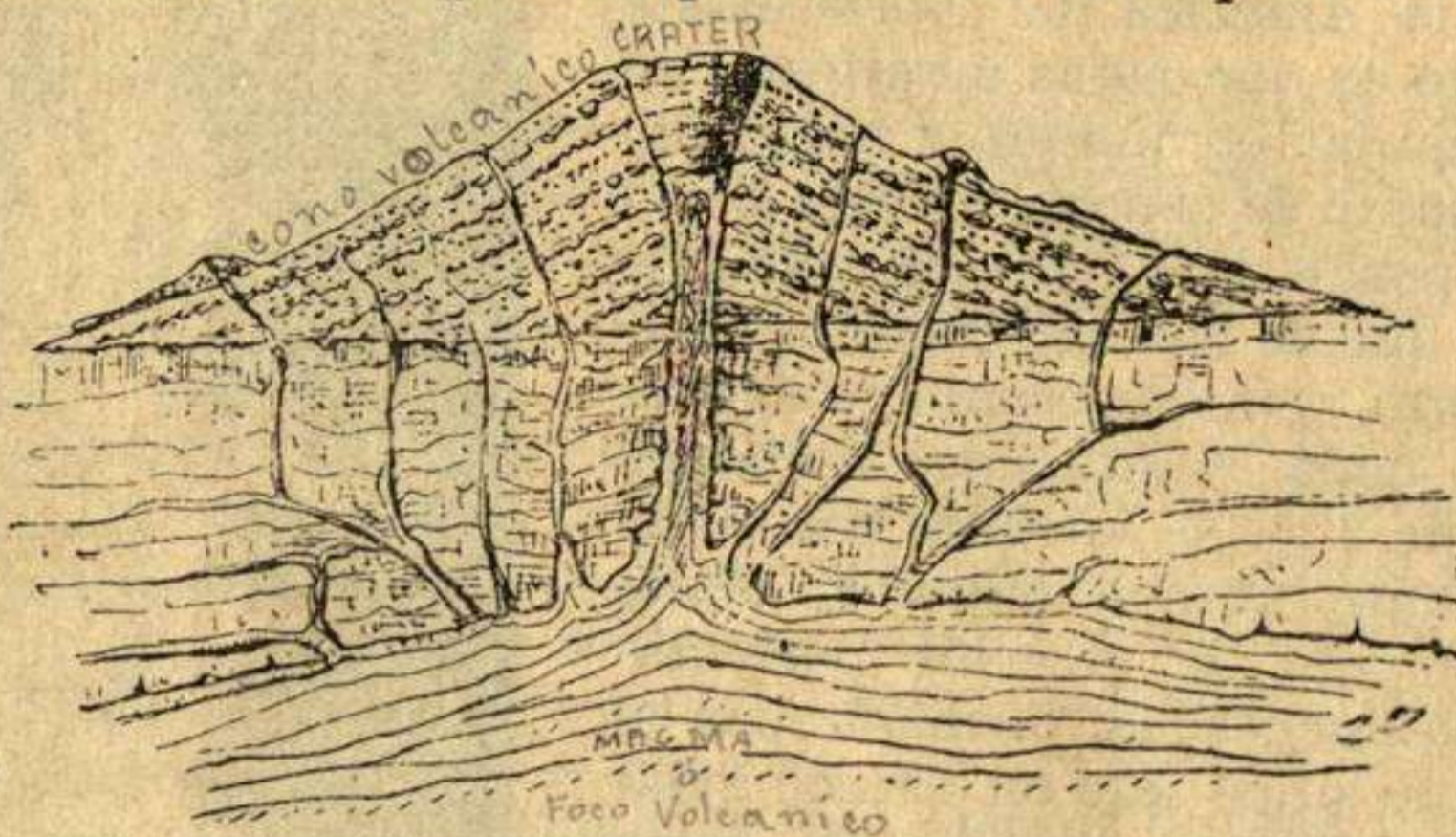


Fig. 17.—Corte ideal de un monte volcánico.

mación geológica, al paso que las capas inclinadas y superpuestas, cuya masa compone dicho monte, son lavas y fragmentos rocosos o pulverulentos acumulados en torno del cráter por donde salieron al exterior.

La actividad volcánica se manifiesta por una sucesión de erupciones o paroxismos de muy diversa intensidad, separados unos de otros por períodos de reposo más o menos completo. Durante estos últimos suele el volcán exhalar gases y vapores.

La chimenea del volcán puede estar obstruída por la lava solidificada de la última erupción, y de aquí los fenómenos precursores consistentes en ruidos subterráneos o en terremotos que se producen hasta vencer el obstáculo. Después de estos preliminares comienza la erupción, escapándose del volcán gases y nubes blancas de agua en vapor a una elevada temperatura, las cuales, proyectadas a gran altura, se disipan o condensan en lluvia copiosa, y con ellas una columna negra de materias pulverulentas, que en la parte superior se esparce en forma de quitasol. En la erupción del Vesubio de 1822, todas estas materias se elevaron, formando un cilindro perfecto de 3.000 m. de altura, que allí se extendía a modo de penacho. El polvo volcánico, resultado del desecho de las materias que obstruían el cráter y las chimeneas, constituye la parte obscura de la erupción.

Las explosiones y proyecciones de gases, de polvo y cenizas no son más que los preliminares de la emisión de lava o roca en fusión contenida en el foco volcánico. Elévase ésta por la chimenea hasta llenar una parte del cráter, y entonces, por su propio peso, buscando salida por las hendiduras, se derrama y desciende por los flancos del monte, o, encontrando un punto de menor resistencia, se precipita por él, invadiendo los campos vecinos. La lava no es, pues, lanzada al aire, sino que se desborda por el cráter principal, o los adventicios, como una materia viscosa, que se va enfriando en su camino, y cuando, más tarde, se consolida por completo, constituye las rocas volcánicas, de que hablaremos oportunamente.

Estos fenómenos suelen durar por espacio de algunos días, y aun de semanas, hasta que, acabado el paroxismo, la lava cesa de correr, y el volcán entra de nuevo en reposo, que dura más o menos tiempo, y en algunos, a veces, siglos.

En la lava sale interpuesta una enorme cantidad de gases y agua en vapor, que, al escaparse, cuando aquélla ha adquirido una cierta consistencia, dan origen a las *fumarolas*, y son causa de la porosidad característica que suelen ofrecer las rocas de este origen. En ocasiones, parte de dichos gases, acumulándose en enormes burbujas en la lava fundida aún en el cráter, se desprende de ella, produciendo explosiones y reduciéndola a partículas microscópicas (*cenizas*), las cuales son lanzadas con violencia a la atmósfera, de donde caen en forma de lluvia, que obscurece el cielo en un radio de muchos kilómetros alrededor del volcán. Es tal la ligereza de las partículas de ceniza y tal la fuerza impulsiva con que son lanzadas, que se extienden a grandes distancias y quedan largo tiempo flotando en la atmósfera. Así, por ejemplo, en el mes de diciembre de 1883, una nevada que cayó en Madrid arrastró de las altas regiones partículas de ceniza lanzadas por la explosión colosal de la isla de Krakatoa, en el estrecho de la Sonda, acaecida en agosto del mismo año. A veces, el vapor de agua, condensándose en torrentes de lluvia, cae sobre el polvo volcánico y sobre las cenizas, y, particularmente con estas últimas, forma un barro caliente, que desciende a lo largo de los flancos del volcán. Tal fué la naturaleza de la famosa erupción del Vesubio, que enterró a Pompeya y Herculano el año 79, después de Jesucristo, bajo una costra de dicho barro. El célebre naturalista Plinio el Viejo perdió la vida por su impaciencia en estudiar este gran cataclismo.

Hay muchos volcanes de cuya erupción no existe recuerdo alguno, como sucede en todos los de nuestra Península (la Mancha, los de la provincia de Gerona y del cabo de Gata), y se califican por esto de *extinguidos* o *apagados*, en contraposición a los *activos*, que han producido erupciones conocidas, y suelen estar emitiendo vapor de agua y gases en mayor o menor cantidad durante los interregnos de calma. De los primeros, suelen haber desaparecido ya sus antiguos cráteres y sus cimas principales por efecto de la ero-

sión, y sólo dan a conocer su pasada existencia mantos de escorias o lavas y cerros redondeados.

Existen en la actualidad unos 270 volcanes activos, repartidos en todos los meridianos y latitudes en ambos polos y en el ecuador, en el fondo de los mares como en los continentes. Sin embargo, hay una nota general en punto a su distribución, y es que los más se encuentran en islas o en la proximidad del mar.

Algunos volcanes aparecen aislados, pero lo general es que se encuentren muchos dispuestos en series, como en la región de los Andes, desde el cabo de Hornos al seno mejicano, donde sobresalen los conos más importantes del mundo, algunos de los cuales al-

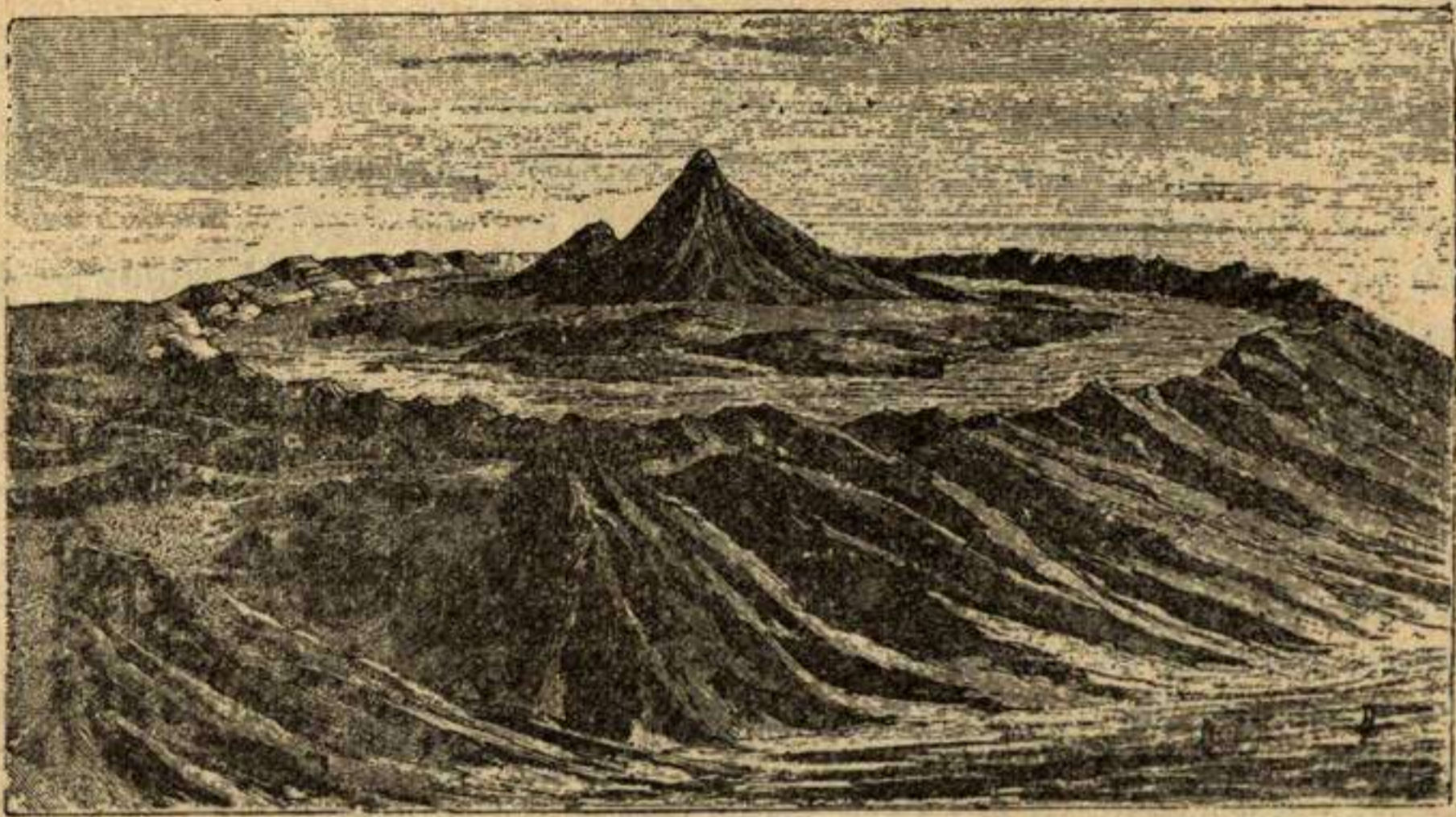


Fig. 18.—El Teide, gran volcán de Tenerife.

canzan alturas de 6 a 7.000 m.; otra serie importantísima se extiende por el Japón y las islas Filipinas, corre por las islas de las Indias Orientales, y a través del Asia Menor y las costas africanas y la Arabia, enlaza con la serie del mar Egeo y de Italia. A veces, los volcanes forman grupos, destacándose en este caso uno principal, como ocurre en Canarias, donde el Teide, de Tenerife, domina a todo el archipiélago. La figura adjunta representa el aspecto de este gran volcán, en lo alto del cual se reconocen los restos de un antiguo cráter, ya arruinado por efecto de las denudaciones, y en el fondo de dicho cráter, el Pico de Teide, que es un volcán parásito de formación posterior al monte, asimismo volcánico, sobre que descansa: se eleva a 3.800 m.; cerca de él se alzan algunos conos de erupción más pequeños.

La materia lávica ha podido surgir también al exterior por fracturas del terreno, de una manera tranquila, sin dar lugar a fenómenos explosivos, y seguramente éste ha sido el caso más general, sobre todo en las épocas geológicas antiguas. Tal es el origen de los grandes mantos o masas redondeadas, sin estratificación ni acompañamiento de materias pulverulentas ni detriticas, que se

hallan generalmente aislados en diversas regiones del globo, y en los cuales la erupción se ha verificado de una sola vez, denominándose *volcanes homogéneos* (fig. 19). En la provincia de Gerona, estos mantos ocupan una extensión superficial de cerca de 200 Km², y todavía esta extensión es insignificante comparada con la que cubre el gran manto que se extiende a Poniente de la América del Norte y con el enorme de la Islandia (1). *y en el campo de Calatrava*

Todos los geólogos modernos están contestes en que nos falta mucho que saber para explicar cumplidamente las causas primeras y aun los procesos mismos de la energía volcánica. Ello es que existe lava fundida, mezclada con gases y vapor acuoso, a cierta profundidad, bien sea en lagos aislados, como unos suponen, o constituyendo una capa continua, como pretenden otros. La forma explo-

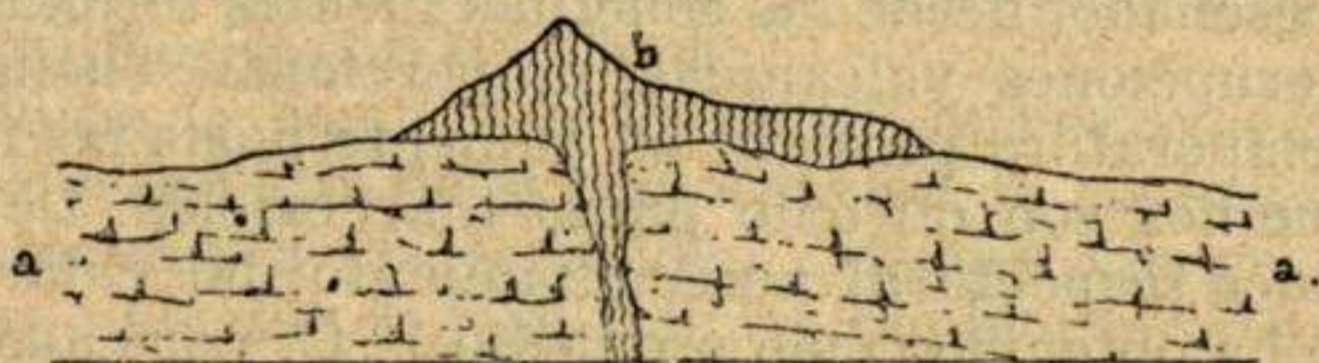


Fig. 19.—Corte ideal de un volcán homogéneo: *a*, suelo atravesado por la materia eruptiva; *b*, materia eruptiva ya consolidada.

siva del volcanismo responde evidentemente, como causa próxima, a la fuerza expansiva de dichos gases y del vapor de agua disuelto en el magma fundido. Pero en todo el proceso volcánico, y especialmente tratándose de los volcanes homogéneos, es, sin duda, el agente esencial, como piensa Mallet, la contracción secular del globo de que vamos a tratar en breve.

Fumarolas, solfataras y aguas agrias.—Hemos dicho que cuando la erupción toca a su término, de los cráteres y grietas, y aun de la misma lava, siguen desprendiéndose vapores, que son los llamados *fumarolas*. En unas domina el vapor de agua y varios gases, al paso que en otras, denominadas *secas*, los productos principales son cloruros de sodio, de hierro y de amoníaco y azufre (*solfataras*). Tal sucede en un antiguo cráter extinguido de cerca de Nápoles. Conforme va la actividad volcánica decreciendo, llegan estas fumarolas a un grado en que sólo desprenden gases, como el ácido carbónico y los hidrógenos sulfurado y carbonado, estables a baja temperatura. Son célebres algunos de estos lugares por las emi-

(1) La famosa erupción del Hecla, en Islandia, en 1783, desparramó por el país, a través de una grieta de 20 kilómetros de largo, una masa de lava de 300 kilómetros cuadrados, con un espesor de 30 metros, lo que da un volumen de 27 kilómetros cuadrados, que es, sin duda, la mayor emisión de rocas volcánicas realizada durante el período histórico.

Por más colosales que parezcan semejantes emisiones, resultan, sin embargo, insignificantes comparadas con el volumen de la Tierra, respecto al cual, reunidas cuantas se conocen, apenas componen la milésima parte de éste.

siones carbónicas, como en la Minilla, junto a Granátula, en la Mancha; en la Gruta del Perro, en Nápoles, cerca del Vesubio (1), y en el valle de la Muerte, en Java. El gas sale otras veces en estado de disolución, constituyendo las llamadas *aguas agrias* en la Mancha, y, en general, las acidulas o carbónicas, que suelen contener disuelto, además, a beneficio de dicho cuerpo, otras sustancias, como el hierro, por ejemplo, y originan entonces un grupo de aguas minerales muy importantes, al que pertenecen los *hervideros* de Puertollano y de Fuensanta, tan reputados como manantiales medicinales.

Calor interno del globo.—La observación directa en las minas y en las grandes perforaciones permite comprobar que en la profundidad de la Tierra existe una temperatura elevada y constante, independiente de la exterior, y todas las manifestaciones eruptivas que hemos reseñado, desde las sencillas fuentes termales hasta las grandiosas erupciones volcánicas, proporcionan buena prueba de que dicha temperatura prosigue en aumento hasta las regiones subterráneas que nos son de todo punto inaccesibles. De los muchos datos recogidos respecto al acrecentamiento del calor con la profundidad, se ha obtenido como promedio 1° C. por cada 30 m. (*grado geotérmico*) (2).

Diferentes hipótesis han emitido los físicos y los geólogos para explicar la causa de este calor propio del globo: en unas se atribuye a que el interior de él se halla constituido por un magma en estado de fusión, resto del estado en que la Tierra se encontró primitivamente, al modo como una corriente de lava conserva su interior pastoso y muy caliente durante mucho tiempo, aun después de solidificada su costra superficial; en otras teorías se apela a reacciones químicas o a causas mecánicas, y, sobre todo, a la presión producida por el trabajo de lenta contracción del globo, y en ambos casos, además, a la poca conductibilidad calorífica de las rocas, para darse cuenta del notable hecho de que tratamos.

No entraremos a discutir aquí estas cuestiones tan delicadas y controvertidas; sólo diremos que las manifestaciones todas que co-

(1) Esta famosa gruta es una cavidad poco profunda, que se llena constantemente de gas carbónico procedente del subsuelo y que constituye una atmósfera donde los animales de poca estatura, como el perro, no pueden penetrar sin experimentar la asfixia, que sería completa si no se acudiera a sacarlos de allí, en tanto que un hombre puede permanecer de pie en la gruta, por no alcanzarle la zona del gas carbónico que, por su densidad, se acumula hacia el suelo.

(2) El grado geotérmico sería la altura de la cual hay que descender verticalmente para obtener un aumento de temperatura de 1° C. Las profundidades a que se ha llegado desde la superficie son verdaderamente insignificantes comparadas con el radio terrestre, pues no han alcanzado siquiera a kilómetro y medio. Además, según los datos recogidos en las minas, los resultados son bastante diferentes, lo cual está relacionado con el grado de conductibilidad de las materias que las forman. Datos más concordantes proporcionan las perforaciones hechas para abrir pozos artesianos, y, sobre todo, donde los sondeos han atravesado las mismas clases de rocas, y en los grandes túneles del Mont Cenís y San Gotardo; pero descartando causas de error que existen en todos los casos, el promedio del grado geotérmico obtenido por las modernas investigaciones se aparta poco de los 30 a 33 metros, que es el mismo que dieron los primeros físicos que plantearon este problema.

nocemos del calor interno se refieren a fenómenos superficiales, incluso las erupciones volcánicas, con respecto al radio terrestre, y que si, en realidad, el interior del globo se halla en un estado incandescente, ninguna influencia ejerce sobre su corteza, la cual es sólo modificada por los agentes geológicos que anteriormente hemos estudiado.

Terremotos.—El suelo que nos sustenta no es tan inmóvil y estadizo como parece a primera vista: a cada momento experimenta trepidaciones, que si bien pasan inadvertidas por su escasa intensidad, adquieren a veces mayor energía, y en ocasiones se convierten en terribles sacudidas, capaces de producir la destrucción de las poblaciones y de originar modificaciones importantes en una región, llamándose entonces *terremotos* o *temblores de tierra*.

Un terremoto es una onda o serie de ellas que se propaga a través de la corteza terrestre desde una profundidad variable, en dirección vertical, horizontal u oblicua.

Un zumbido sordo, como el de un trueno que se oyera a lo lejos, y otros ruidos que resultan de la perturbación de las rocas subterráneas, suelen preceder a las sacudidas. Después vienen éstas, y a veces una sola; o afectan la forma de un temblor prolongado. Hay sacudidas que sólo duran una fracción de segundo, y en otros casos, los movimientos del suelo se repiten durante meses consecutivos. En 1891, en el espacio de un minuto, un terremoto destruyó en el Japón tres ciudades populosas, pereciendo 7.000 personas y resultando heridas 100.000.

Estos fenómenos producen en el suelo grietas rectas, curvas o en zigzag (fig. 20), de las cuales unas permanecen abiertas, mientras que otras se cierran inmediatamente después de haber tragado lo que se encontrase en la superficie. En algún caso se han producido grietas de 2 Km. de largo por 10 m. de anchura y 40 de profundidad. Ocasionalmente también modificaciones en el sistema hidrográfico de las comarcas afectadas, desapareciendo arroyos y ríos en parte de su trayecto, para surgir en nuevos lugares, y en la distribución de las fuentes naturales, secándose unas y manando otras en parajes donde no existían. No es raro comprobar, después de un temblor de tierra, que el nivel del suelo ha sufrido cambios apreciables; las más veces se deprime y aun se dice que se ha alzado en algunos casos.



Fig. 20.—Grietas producidas por un terremoto.

Las ondas sísmicas, cuando atraviesan el mar en grandes extensiones, hacen que éste empiece por retirarse de la costa, dejando en seco los puertos y bahías, para luego volver en forma de ola, alcanzando alturas de 20 y 30 m., que se lleva por delante cuanto

encuentra. Tal sucedió en la isla de Java, ocasionando la muerte de 40.000 personas.

El foco real o punto de partida de la sacudida está bajo tierra y a una profundidad que varía en cada uno de los terremotos, pero en todos los casos es somero con relación al radio del globo: se ha podido calcular esta profundidad en algunos de ellos, como en el terremoto de Isquia, de 1883, que radicó sólo a 250 m., y en los de Andalucía, de la noche del 25 de diciembre de 1884, en los que se hallaba a 18 Km. bajo la superficie. En la mayor parte, la profundidad del foco vibrante no pasa de 20 a 30 Km.

En todos los casos, los terremotos se propagan en forma ondulatoria a partir de un centro, como las ondas sonoras, y en la superficie del suelo, como las de un estanque cuando se arroja en él una piedra. Obran, por consiguiente, elevando y deprimiendo alternativamente el terreno, caminando con rapidez, aunque con velocidades muy distintas en los casos en que han podido comprobarse éstas. La naturaleza de las rocas de un país y la existencia o falta de montañas que opongan un obstáculo a la propagación son circunstancias que modifican la velocidad de éstos, así como la intensidad de sus efectos mecánicos.

La extensión afectada por los terremotos es muy variable, desde algunos kilómetros hasta distancias enormes. El de Lisboa de 1755, que destruyó la ciudad y produjo la muerte de 30.000 personas, se hizo sentir en Marruecos, donde destruyó muchas aldeas, y en otras direcciones, hasta la Escandinavia y las Antillas. Los que asolaron una parte de Andalucía en 1884 y 1885 se percibieron, aunque con escasa intensidad, en Italia, Bélgica, Inglaterra y Alemania. De aquí la división de los terremotos en locales y generales.

Las regiones más sujetas a terremotos son, en primer término, las volcánicas, como la de los Andes, el Japón y la región italiana, y después, aquellas comarcas del suelo dislocado, cual ocurre en Andalucía, los Pirineos y los Alpes, en las que no hay ninguna manifestación de energía volcánica.

Numerosas son las causas que pueden determinar la producción de sacudidas en la corteza terrestre; pero prescindiendo de los temblores puramente locales, como los precursores de las erupciones volcánicas, o el derrumbamiento de las cavidades subterráneas debidas a la erosión, de las cuales hemos hecho oportuno mérito, parece hoy bien demostrado que los verdaderos terremotos, o sea los generales, están relacionados con los fenómenos eruptivos y los de la formación de las montañas de que vamos a tratar a continuación, cuando se rompe una capa profunda por efecto de tensiones superiores a su fuerza de cohesión.

5.º AGENTES OROGÉNICOS

Además de los movimientos producidos por los terremotos, que son de trepidación y repentinos, como acabamos de ver, experi-

menta la corteza terrestre otros más importantes, que se distinguen de aquéllos por ser lentos, continuados y de báscula; éstos son los *movimientos epirogénicos*. Si dicha corteza permaneciese inmóvil en el transcurso de las edades, el mar cubriría casi homogéneamente el esferoide terrestre, como aconteció en la época primitiva. Las escasas tierras emergidas que pudieran existir serían planas o no ofrecerían otras desigualdades que las producidas por denudación, estando reducidas, por tanto, a surcos o valles fraguados en una meseta única. Los relieves que componen las grandes cadenas montañosas difieren esencialmente por su estructura de esta última clase de accidentes, y en ellos se revela claramente que las capas que forman aquéllas, de origen sedimentario, unas veces se han doblado o arqueado, y otras, conservando su horizontalidad, han sido alzadas a las alturas en que hoy se encuentran desde el fondo de los mares que constituyeron en otro tiempo.

Veamos algunas pruebas de esta clase de movimientos.

Playas levantadas.—Las relaciones recíprocas de la tierra firme y del Océano han ido variando y varían actualmente, según lo atestiguan los cambios que las líneas de costa sufren en numerosos puntos del globo, y por virtud de los cuales, en unas partes las antiguas playas se encuentran hoy sobre el nivel del mar (playas levanta-

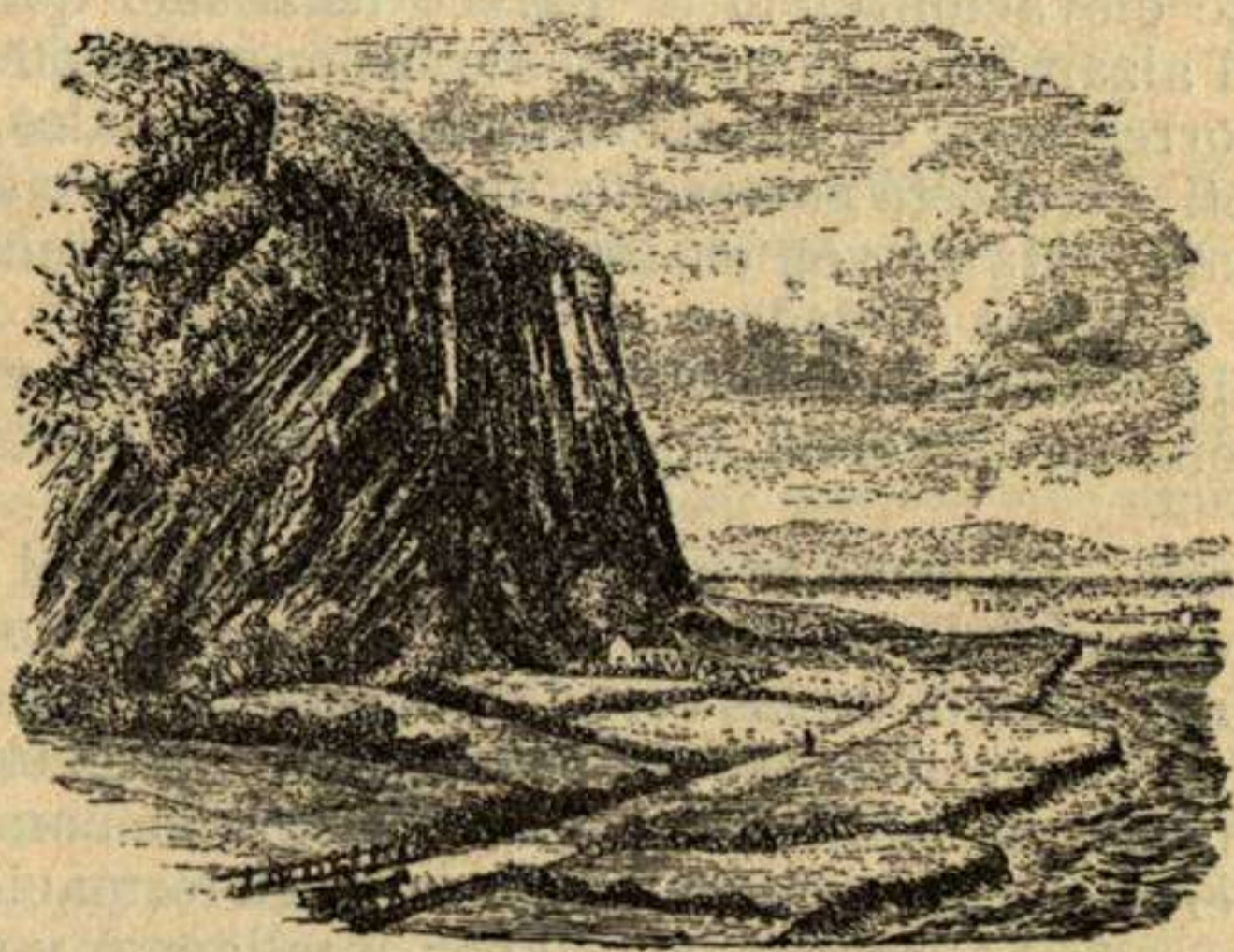


Fig. 21.—Acantilado separado del mar por una playa levantada.

das), al paso que en otras, planicies emergidas en tiempos anteriores, yacen ahora bajo las aguas.

En nuestra Península, como en otras muchísimas regiones, es muy frecuente hallar riberas constituídas por una banda de tierra baja y llana, comprendida entre el mar y una muralla de altas rocas (fig. 21). Estas conservan aún en sus muros las señales de la erosión marina, consistentes en cuevas fraguadas a su pie, y muchas veces las huellas de ciertos moluscos que las perforaron cuando la

ola lamía aquellos acantilados. Varias poblaciones están edificadas en la superficie nivelada de antiguas playas, tanto en el litoral Cantábrico como en el Mediterráneo. En Santoña se conservan las argollas a que se amarraron las naves de Carlos V, hallándose ahora entre ellas y el mar un paseo, varias casas y huertas.

Se cita como un notable ejemplo de mesetas marinas alzadas el litoral de Chile, donde se las encuentra penetradas y sembradas de conchas correspondientes a especies de moluscos que viven actualmente hasta la altura de 300 m.; los puntos más elevados de esta costa se hallan en Valparaíso, cuyo suelo se ha alzado 3,20 m. desde 1817 a 1834, mientras que desde 1614 a 1817 sufrió aquella playa una elevación total no superior a 1,80 m.; lo cual indica que la emersión no se realiza de un modo uniforme.

En algunas partes del mundo se puede sorprender el levantamiento del terreno sin violencia ni conmoción por comparación con el nivel del mar. La emersión progresiva del Norte de la península Escandinava se cita como clásica desde el tiempo de Linneo, quien la evaluó en un metro por siglo, si bien después se ha reconocido que no es tan regular. En todas estas grandes oscilaciones domina el carácter de báscula; así, a la emersión del golfo de Botnia corresponde una sumersión de la punta terminal de la Escania. El fondo del Pacífico está sujeto igualmente a un movimiento de inmersión en el N. y de elevación en el S. Parece asimismo que en nuestra Península al alzamiento antes dicho de las costas septentrionales y orientales corresponde un descenso de las meridionales, y así, en la isla de Sancti Petri está sumergido un famoso templo de Hércules, y en la misma costa se ven en los días de calma muchas ruinas y murallas de antiguas ciudades.

Los cambios en el nivel relativo de la tierra y del mar constituyen un fenómeno universal, que se extiende a toda la superficie del globo.

Cordilleras.—En éstas se halla la prueba principal de los movimientos orogénicos. Como antes se ha dicho, casi toda la masa, cuando no la totalidad, de las cordilleras está constituida por capas sedimentarias y consolidadas, por consiguiente, en el fondo del mar; y por si alguna duda pudiera caber de ello, aprisionan restos petrificados de seres que vivieron en la época de su formación. Esos testimonios han sido hallados por la labor inteligente y activa de los geólogos en las más altas cumbres del Himalaya, del Pirineo, de los Alpes, de los Andes y de todas las cadenas del globo, y no han dejado sombra de duda respecto a que las rocas que las forman estuvieron en su origen bajo los mares.

Las capas que constituyen la masa de las montañas están plegadas y aun fracturadas de diverso modo, revelando las fuerzas de compresión que han obrado sobre ellas después de consolidadas, y con frecuencia se hallan atravesadas por inyecciones de rocas eruptivas, todo lo cual produce una complicada estructura, según veremos al tratar de la Geología arquitectónica.

Teorías orogénicas.—Los antiguos creían que las montañas eran relieves que el globo ofrecía desde su origen; pero ya en el siglo XVIII, la existencia de fósiles marinos en las grandes alturas llamó la atención de los geógrafos y naturalistas, habiéndose emitido varias hipótesis para explicar este hecho sorprendente. Al principio se buscó su origen en fuerzas aisladas subterráneas, que, empujando de abajo arriba las rocas profundas de la corteza, las obligaban a echar a los lados el manto de terrenos estratificados que antes las cubrían. Más tarde, Elie de Beaumont desarrolló la idea de que las cadenas montañosas no están aisladas, sino que obedecen a una ley que permite agruparlas en sistemas definidos por sus alineaciones. Hoy día, los estudios *orogénicos*, o sea los referentes a la formación de los relieves terrestres, han adquirido gran desarrollo e importancia. Los movimientos que dan lugar a las cordilleras se explican satisfactoriamente, como el resultado de la adaptación secular de la corteza del planeta a un núcleo que se condensa lentamente y disminuye de volumen de un modo constante. La costra del globo, no pudiendo quedar en el vacío, tiene que arrugarse para ocupar menor espacio y amoldarse al núcleo, como lo hace la piel de una uva que se convierte en pasa. Se ha calculado que si se desplegasen hasta recobrar su primitiva horizontalidad las capas arrugadas que constituyen, por ejemplo, las cordilleras de los Alpes y del Jura, se comprobaría que el radio terrestre ha disminuído 10.000 m. desde la época en que dichas capas estaban extendidas en su posición originaria.

Pero las rocas terrestres no son homogéneas, sino flexibles unas, como los sedimentos dispuestos en capas, y rígidas las otras, como los macizos de piedra berroqueña o granito. De aquí resulta que, en virtud de las presiones tangenciales al esferoide terrestre, los materiales flexibles, chocando contra los macizos rígidos, se doblan primero, y continuando las presiones, acaban por romperse por los dobleces, y si descienden entonces verticalmente, pueden originar zonas de depresión, en tanto que, permaneciendo los segundos en su posición primitiva, aparecen elevados con respecto a los otros, sin que en realidad hayan sido alzados.

Las masas continentales son, por tanto, espacios de relativa estabilidad, cuyos movimientos seculares quedan limitados a la dirección vertical; las cordilleras, por el contrario, son partes flexibles de la corteza, pero que por las sucesivas plegaduras y rupturas se han ido consolidando hasta soldarse a las masas continentales.

En suma: el acortamiento secular del radio terrestre por efecto del lento enfriamiento del globo es la causa general de la formación de las montañas en las partes más flexibles de la corteza terrestre, y, por tanto, del acrecentamiento de los continentes, así como de las depresiones oceánicas; elementos todos del relieve planetario que se han originado, a no dudarlo, de un modo paulatino y continuado.

Acción contraria de los agentes externos e internos.— Sintetizando el resultado final de la obra que los agentes geológicos realizan, es fácil notar que los externos trabajan constantemente en igualar la superficie del planeta, arrastrando grano a grano o disueltas en las aguas corrientes las rocas de las alturas, con lo cual las montañas enteras son trasladadas al fondo del mar, rellenando así sus profundidades. En cambio, los agentes orogénicos se encargan de alzar nuevas porciones en forma de islas, relieves y cordilleras. De estos dos trabajos encontrados resulta la incesante renovación del suelo y de los accidentes geográficos a través de los tiempos geológicos; lento pero continuo mudar que constituye la vida del globo que habitamos.

GEOGNOSIA

GENERALIDADES

La corteza sólida del globo está constituida por materiales pétreos, cuyo estudio corresponde al tratado de la Geología llamado *Geognosia*.

Todas las materias pétreas o piedras no alcanzan la misma importancia como factores integrantes del planeta, pues unas abundan por extremo, ocupan grandes extensiones y forman montañas enteras, como sucede, entre otras, con la piedra berroqueña, las pizarras, las calizas, el cuarzo y las arcillas, al paso que otras se hallan en escasa cantidad rellenando las hendiduras de las rocas o formando en su seno masas generalmente muy limitadas, como las piedras finas, el oro, el platino y las combinaciones naturales que se utilizan para la extracción de los metales. Atendiendo a este concepto de cantidad, muy esencial en el respecto que nos ocupa, se distinguen las primeras materias, que se llaman *rocas*, de las segundas, que son los *minerales*.

Caracteriza, además, a los minerales, a distinción de las rocas, la composición y la forma. En efecto: la composición de los minerales se puede considerar como constante, por cuanto oscila dentro de límites conocidos y bastante próximos para cada especie mineral, por lo cual cabe representarla por una fórmula química; también es constante en ellos la forma, que corresponde a los poliedros geométricos, habiendo relaciones importantes entre ésta y la composición, así como con la densidad, la dureza y otras propiedades físicas.

Fuera de ciertos minerales, en reducido número, que se encuentran a veces constituyendo por sí masas de bastante importancia para merecer el nombre de rocas, estas últimas resultan de la asociación de varios minerales, como sucede al granito o piedra berroqueña, al gneis, a las masas de origen volcánico, al pórfido y a tantas otras, en todas las cuales la composición química cuantitativa varía según la proporción en que entran a constituirla di-

chos minerales. Del mismo modo y por igual causa, la densidad, la dureza, la estructura y otras propiedades no pueden ofrecer en las rocas compuestas la fijeza ni la homogeneidad que en las especies minerales.

Resulta de las indicaciones que preceden que la parte sólida del globo está constituida por rocas, y éstas, a su vez, por minerales, y de aquí la división de la Geognosia en *Mineralogía*, que trata de los segundos, y *Litología*, que lo hace de las primeras.

Mineralogía.

Tratados que comprende.—La Mineralogía comprende una parte general, que estudia los *caracteres*, esto es, las propiedades o señales que sirven para distinguir unos minerales de otros y lo que de común puedan ofrecer, y otra especial o descriptiva, que, como indica su nombre, versa sobre la clasificación y característica de los minerales.

El estudio general de las propiedades de estos seres no es, en último término, más que una aplicación de la Geometría, la Física, y la Química, de las que se eligen los principios conducentes a dicho fin, y así, lo que se refiere a la forma, tanto interna como externa de aquéllos, constituye la *Morfología mineral*; después viene el estudio de la densidad, dureza, color, etc., en una palabra, de todas aquellas propiedades que, no afectando a la composición de la substancia, no exigen la alteración de ésta para ser apreciadas, *Física mineral*, y, por último, procede la investigación de la naturaleza, cantidad y agrupación de los cuerpos que los constituyen y reacciones distintas que ofrecen, esto es, los caracteres químicos, *Química mineral*.

Todavía hay que considerar los minerales como factores del globo, y bajo este concepto, su manera de aparecer y las funciones que puedan desempeñar en el dinamismo terrestre; pero este asunto se tratará en las otras partes de la Geología, cuya exposición seguirá a la de la Geognosia.

PARTE GENERAL

Morfología mineral.

Los minerales son casi siempre agrupaciones moleculares simétricas, que, cuando han podido realizarse sin que obstáculo alguno se opusiera a ellas, han dado lugar a sólidos geométricos regulares y completos. Oportunamente veremos que es muy escaso el número de substancias minerales verdaderamente amorfas, es decir, que presentan un aspecto coloide (ópalo, obsidiana, limonita). Lo normal es que el agrupamiento o estructura de las moléculas sea regular en los minerales, y aunque el movimiento de ellas no haya podido ejercerse con libertad y el contorno exterior aparezca de forma

accidental, las condiciones internas de su masa obedecen a una agrupación simétrica. De aquí que los minerales puedan ser *crystalizados, cristalinos y amorfos*.

FORMAS CRISTALINAS

Cristales: sus elementos.—Se llaman *cristales* las formas poliédricas de los minerales, y se dice de éstos que *están crystalizados* cuando las presentan.

Hállase constituido todo cristal, como sólido geométrico que es, por tres elementos: *caras* o planos que los limitan, *aristas* o rectas que resultan de la intersección de dos caras (ángulos diedros) y *vértices* o ángulos sólidos, que son los puntos donde se cortan tres o más caras.

Dos principios fundamentales que vamos a examinar, a los cuales obedecen los cristales, constituyen la base científica del tratado que nos ocupa, o sea de la *Cristalografía*: el de la constancia del valor de los ángulos diedros y el de la simetría.

Constancia del valor del ángulo diedro.—Esta ley puede enunciarse diciendo que en cada especie mineral, los ángulos diedros correspondientes a aristas de igual naturaleza poseen siempre el mismo valor. En efecto: las caras de un cristal pueden diferir en sus dimensiones relativas, pero la inclinación de las mismas es constante e invariable dentro de la especie. Constituye por eso el número que expresa el valor del ángulo diedro un carácter esencial para distinguir los cristales de una especie mineral de los de otra, por cuanto las caras igualmente colocadas forman siempre el mismo ángulo en cada una de ellas. Así, por ejemplo, dos especies tan afines por su composición y hasta por su forma, pues crystalizan en el mismo sistema, como son la calcita (carbonato cálcico) y la dolomita (carbonato cálcico magnésico) se distinguen por ser el romboedro primitivo de $105^{\circ} 5'$ en la primera, y de $106^{\circ} 15'$ en la segunda.

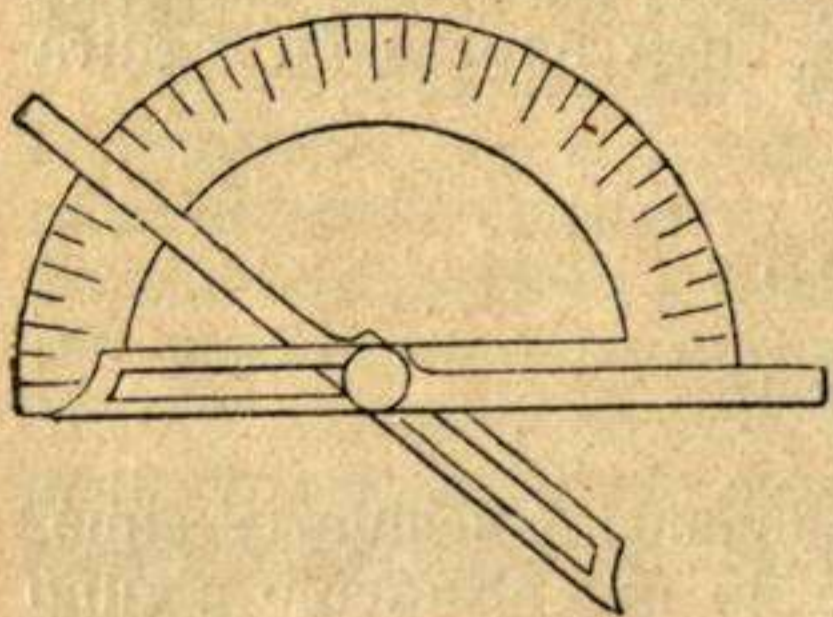


Fig. 22.—Goniómetro de aplicación.

Goniómetros.—Llámanse así los instrumentos destinados a medir los ángulos diedros de los cristales. Los hay de dos sistemas: unos más sencillos, llamados de *contacto* o de *aplicación*, y otros de *reflexión*. Los primeros (fig. 22) consisten en dos reglitas metálicas o alidadas unidas a modo de tijeras por un botón que pueden formar ángulos variables, los cuales se miden en un semi-

círculo graduado de latón. Aplícanse las alidadas directa y perpendicularmente sobre las caras del cristal que forman el ángulo que se trate de medir, se sujetan después con el botón y entonces se adaptan al semicírculo graduado, ocupando una de ellas el diámetro mientras que la otra señala los grados. Estos goniómetros

son muy útiles tratándose de los grandes cristales, sobre todo si sus aristas están bien marcadas y las caras son lisas, pero la exactitud que con ellos se alcanza no pasa de medio grado.

Los goniómetros de reflexión se llaman así porque se fundan en la reflexión de la luz sobre las caras brillantes de los cristales. Con ellos se obtiene mayor exactitud y es dado medir cristales pequeños; pero, en cambio, su manejo es más delicado y exige más tiempo que el de los de aplicación.

El principio en que se basan se comprenderá por la

figura 23. Si sobre la cara brillante lk cae un rayo de luz L , se reflejará hacia O . Si gira después el cristal alrededor de la arista k , hasta que el mismo rayo luminoso se vuelva a reflejar sobre la otra cara ki , como lo hizo el anterior, el cristal habrá recorrido el ángulo ekl . Este último ángulo será exterior y adyacente al interno ikl , que es el verdadero diedro del cristal y, por tanto, la suma de ambos valdrá 180° (1).

Son muchos los goniómetros de reflexión que se han inventado, llegando los modernos a un grado de exactitud maravilloso; pero limitándonos a describir uno de los más sencillos, lo haremos solamente del inventado por Wollaston en 1809 con los perfeccionamientos que se han hecho después en él, que es el representado en la figura 24. Para poder colocar sucesivamente las dos caras del diedro que se quiere medir en el mismo sitio y posición, existe en el centro del aparato un mecanismo manejable con los dedos, el cual permite girar y mudar la posición de un soporte, al que se pega con cera el cristal; por tanteos se

llega a conseguir así que la arista del diedro se encuentre todo lo más exactamente posible en la prolongación del eje de rotación del instrumento. Al pie de éste existe, además, un espejo móvil, en el que se logra, también por tanteos, que se refleje paralelamente la

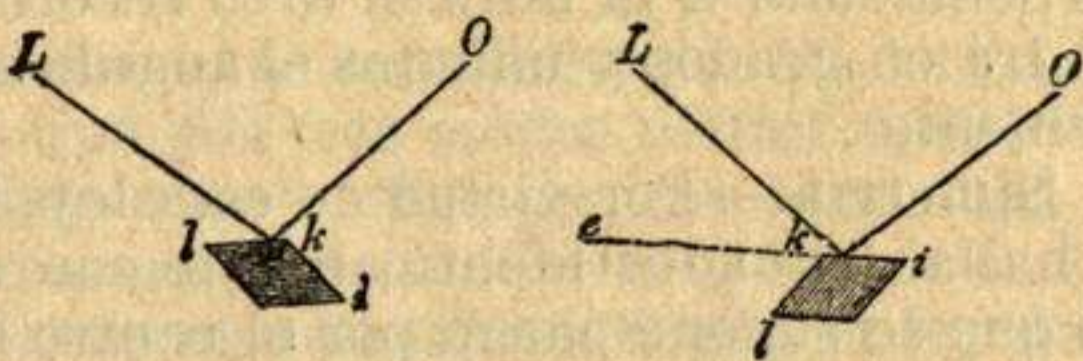


Fig. 23.

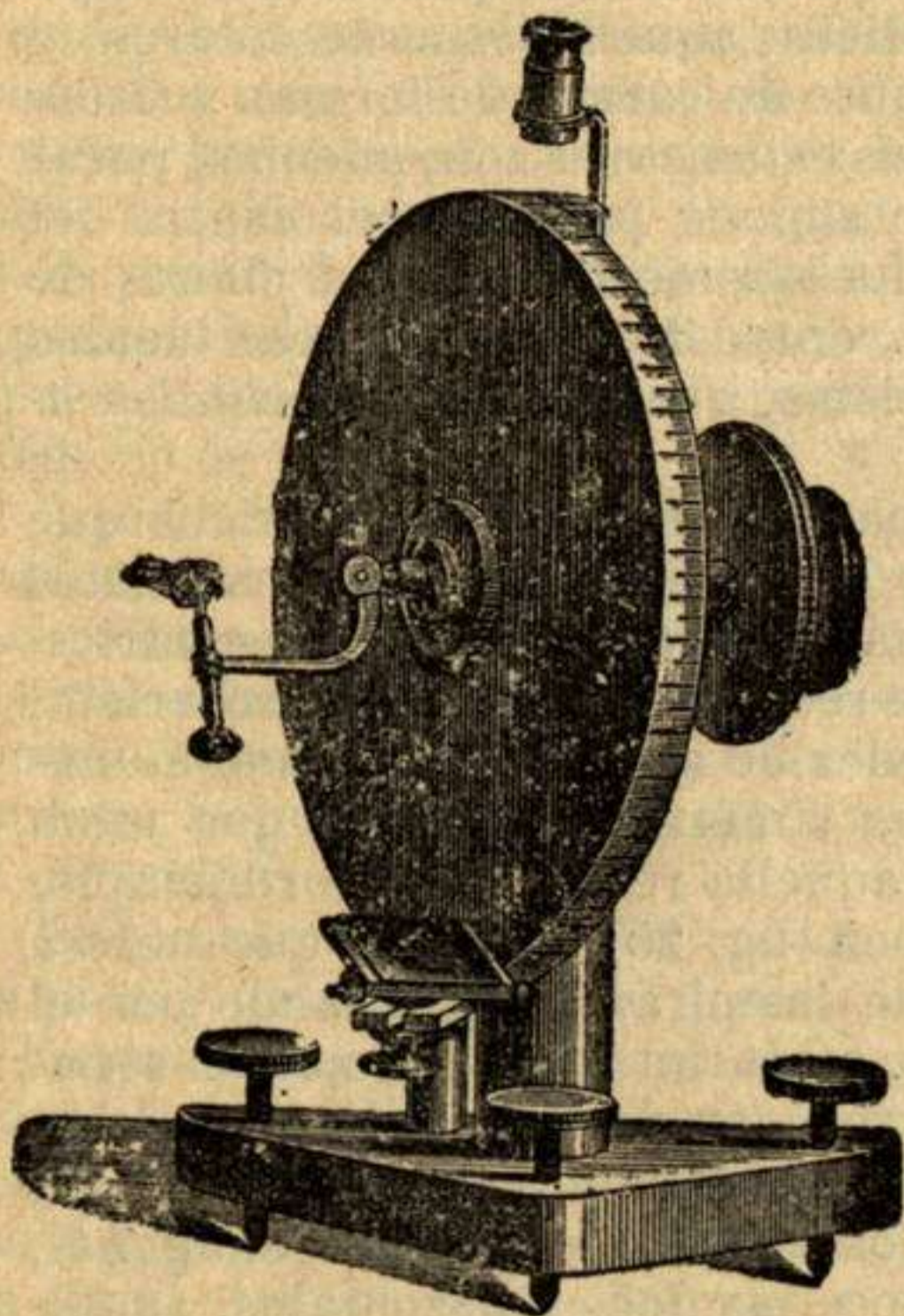


Fig. 24.—Goniómetro de Wollaston.

(1) El ángulo que se mide con los goniómetros de reflexión es realmente el suplemento del diedro formado por la intersección de dos caras de un cristal.

misma imagen de un foco luminoso pintada sobre la cara del cristal. Haciendo girar este último a beneficio de un eje, una segunda imagen del mismo aparecerá reflejada en la otra cara y se superpondrá a la del espejo, que ha permanecido inmóvil durante la operación. Entonces no habrá más que leer en el círculo graduado perpendicular a la mira el arco recorrido en el giro del cristal, y se tendrá en grados y minutos el ángulo buscado (o, en realidad, su suplemento).

Simetría.—Por virtud de esta ley, los elementos de los cristales se hallan situados idénticamente con respecto a unos planos ideales que se supone pasan por el centro de dichos cristales, dividiéndolos en dos mitades iguales, y que se denominan *planos de simetría*.

A cada cara cristalina corresponde en el lado opuesto otra que le es paralela, o, como suele decirse, todo cristal está constituido por pares de caras. Asimismo, a los dos lados de cada plano de simetría deben existir igualmente colocados elementos de tamaño y forma idénticos, con caras, aristas o vértices iguales.

La intersección mutua de las caras cristalinas produce, como ya hemos dicho, las aristas y los vértices: aquéllas son de diedros, y éstos, triedros o poliedros. El conjunto de caras que forman aristas paralelas constituyen una *zona*; todas estas caras son, además, paralelas a una línea imaginaria que se supone pasa por el centro del cristal, y se denomina *eje de zona*. La intersección de los planos de simetría en dicho centro da lugar a líneas ideales paralelas a las aristas, que son los *ejes cristalográficos*.

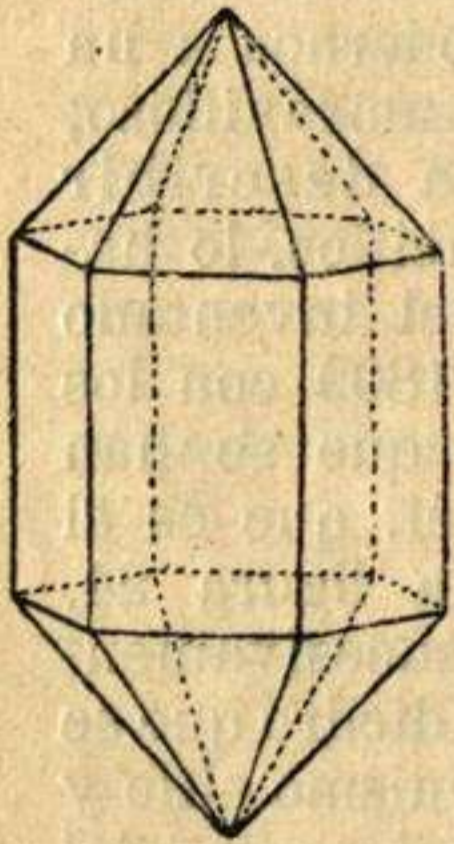


Fig. 25.

Según el número de elementos idénticos que existan alrededor de cada eje, se clasifican éstos en binarios, ternarios, cuaternarios y senarios. Esta propiedad se reconoce haciendo dar al cristal una vuelta alrededor de su eje y contando el número de posiciones simétricas entre sí que toma el sólido durante aquella revolución. Por ejemplo, en el cristal de roca (fig. 25), la línea que uniera los dos vértices de las pirámides, pasando por el centro del cristal, sería un eje de simetría senaria, puesto que alrededor de él están en posición idéntica las seis caras verticales, iguales en forma y tamaño, que constituyen el prisma exagonal,

las seis aristas verticales del mismo y las doce horizontales, igualmente idénticas entre sí, de donde resulta que durante una vuelta alrededor de dicha línea, todo el cristal ocupa seis veces la misma posición. Tendiendo el cristal sobre una de las caras del prisma exagonal, la línea que pasara verticalmente por el centro de estas caras y el del cristal o la que uniera los puntos medios de las aristas formadas por estas mismas caras serían ejes de simetría binaria, pues girando el cristal alrededor de ellas sólo dos veces se coloca en posiciones idénticas.

Formas simples y compuestas.—Las formas cristalinas limitadas por caras todas iguales o que obedecen a la simetría propia del sistema a que pertenecen se llaman *simples*, y *compuestas* o *combinadas*, cuando resultan de la unión de dos o más simples; así es que pueden reconocerse, en estas segundas, combinaciones de otros tantos sólidos geométricos.

Desde el punto de vista geométrico, se considera que las formas compuestas derivan de la forma tipo por tres modos distintos, debidos a sustitución: 1.º, de una arista o un vértice por una cara, *truncamiento*; 2.º, de una arista por dos caras, *biselamiento*, y 3.º, de una arista o una cara por otras tres caras, *apuntamiento*. Según la ley de simetría, la modificación de cualquiera de los elementos del cristal implica la de sus semejantes, de modo que cuando decimos sustitución de un vértice, de una arista o de una cara, se ha de entender que es la de todos los elementos a ellos análogos.

Holoedría, hemiedría y hemimorfismo.—Los cristales completos, es decir, que tienen el número de caras necesario para que se manifieste en ellos con toda claridad la simetría propia del sistema a que pertenecen, se llaman *holoédricos*; los que no presentan más que la mitad de dichos elementos, se dicen *hemiedricos*. Cada uno de esos segundos se puede considerar como el resultado del desarrollo de la mitad del número de caras de un holoedro a expensas de las restantes. Así, del cristal holoédrico, representado en la figura 27, puede derivar el hemiedrico de la 33.

Aquellas formas cristalinas que muestran desigual conformación en los extremos de un eje de naturaleza única se dicen *hemimórficas*. La figura adjunta representa un prisma que en la extremidad superior termina por caras piramidales, y en la opuesta, por una base, disposición que suelen ofrecer los cristales de calamina.

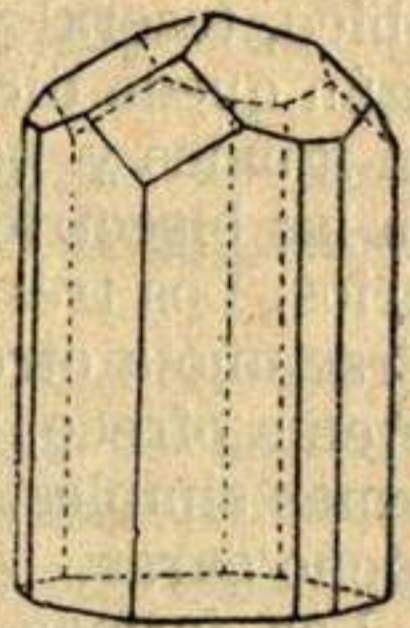


Fig. 26.
Cristal hemimórfico.

Sistemas cristalinos.—Considerando el número y naturaleza de los planos de simetría que poseen los cristales, tanto los que ofrece la Naturaleza como los producidos en el laboratorio, se reconoce que todos ellos pueden reducirse a seis *sistemas cristalinos*, entendiéndose por éstos cada conjunto de formas dotadas de igual número de planos y ejes de simetría y de la misma naturaleza. Estos sistemas son los siguientes, en orden del menos al más simétrico:

- 1.º *Asimétrico*: sin plano ni eje de simetría.
- 2.º *Monosimétrico*: con un solo plano de simetría.
- 3.º *Rómbico*: con tres planos de simetría.
- 4.º *Tetragonal*: con cinco planos de simetría.
- 5.º *Exagonal*: con siete planos de simetría.
- 6.º *Regular*: con nueve planos de simetría (1).

(1) Nótese como regla nemotécnica que el número de planos de los sistemas, yendo del menos simétrico al que lo es más, sigue el orden de los números impares 0, 1, 3, 5, 7 y 9.

Según el número de ejes cristalográficos principales de cada sistema, se establece la siguiente clasificación de estos últimos en tres grupos: 1.º, con tres ejes principales de simetría (regular); 2.º, con un eje principal de simetría (exagonal y tetragonal), y 3.º, sin ningún eje principal de simetría (rómbrico, monosimétrico y asimétrico). Esta clasificación tiene suma importancia en punto a los caracteres físicos de los sistemas, como veremos después.

Atendiendo a los planos y ejes principales y secundarios de simetría, los sistemas se caracterizan del modo siguiente:

SISTEMAS	Número de planos de simetría.	Ejes principales.	Ejes secundarios.
Asimétrico.....	0	0	0
Monosimétrico....	1	0	1
Rómbrico.....	3	0	3
Tetragonal.....	5	1	4
Exagonal.....	7	1	6
Regular.....	9	3	10

Sistema regular.—Las formas de este sistema, llamado también cúbico, teseral y de otros modos, poseen nueve planos de simetría, según queda dicho, y trece ejes, de los cuales los tres principales son iguales y perpendiculares entre sí, teniendo seis binarios, que son las bisectrices de los ángulos que aquéllos forman, y cuatro ternarios. Los tres ejes principales son equivalentes y pueden sustituirse uno a otro sin que se altere por ello la posición del sólido. El sistema ofrece, por su riqueza de planos, considerable número de formas simples, que tienen seis, ocho, doce, veinticuatro y cuarenta y ocho caras.

Las formas simples holoédricas principales de este sistema son las siguientes:

Octaedro regular (fig. 27), limitado por 8 caras, que son triángulos equiláteros, 12 aristas y 6 vértices; todos los elementos del cristal son iguales entre sí. Ejemplo: el rubí y la magnetita.

Exaedro o cubo (fig. 28), limitado por 6 caras terminales cuadradas, 12 aristas rectangulares iguales y 8 vértices triedros. Cada cara es normal a un eje cuaternario y paralela a los otros dos. Se presenta en la sal común, la galena y la fluorita, entre otros minerales.

Rombododecaedro (fig. 29), limitado por 12 caras en forma de

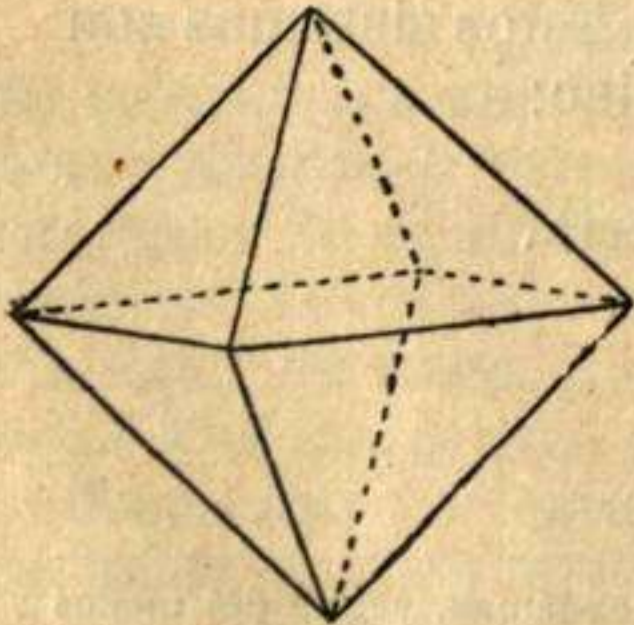


Fig. 27.—Octaedro regular.

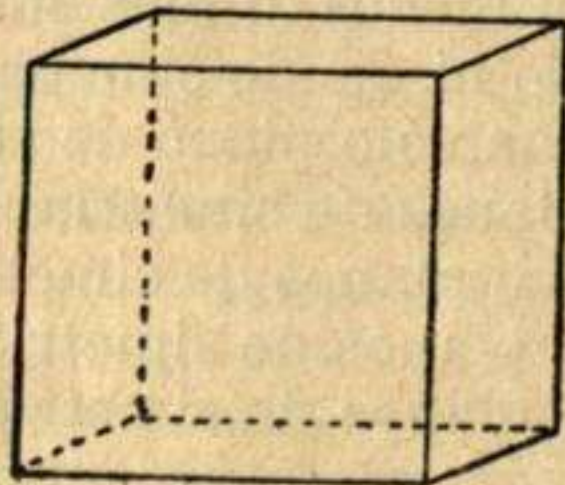


Fig. 28.—Exaedro.

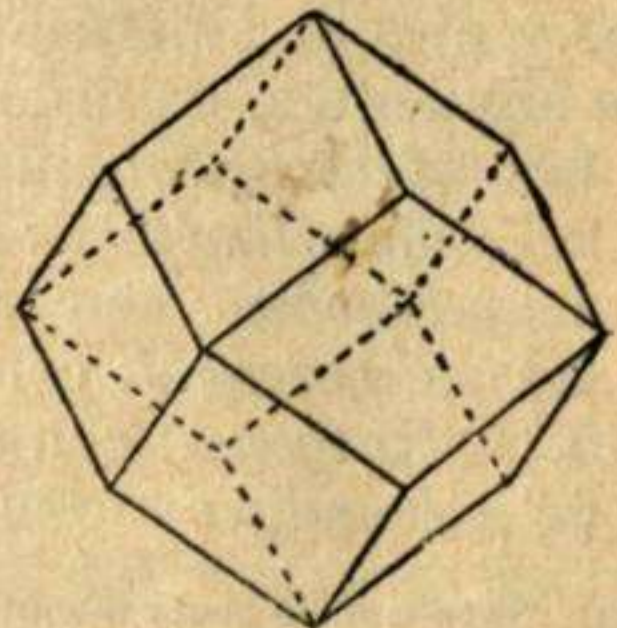


Fig. 29.—Rombododecaedro.

rombos, 24 aristas iguales y 14 vértices de dos clases, 6 tetraédricos y 8 triédricos. Granate.

Tetraquisexaedro o *cubo piramidado* (fig. 30), limitado por 24 caras triangulares isósceles, 36 aristas de dos clases y 14 vértices, también de dos clases. Fluorita, diamante.

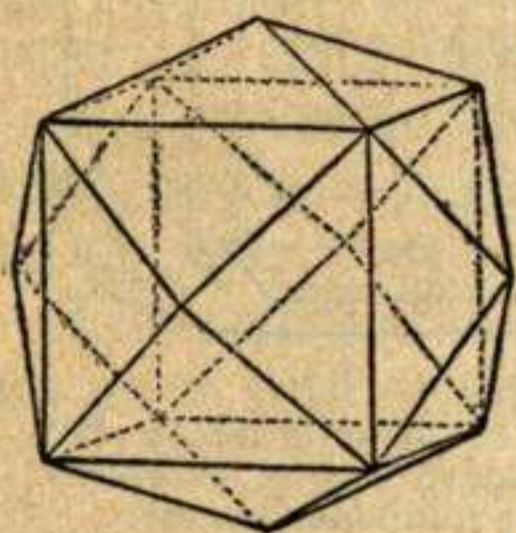


Fig. 30.—Tetraquisexaedro.

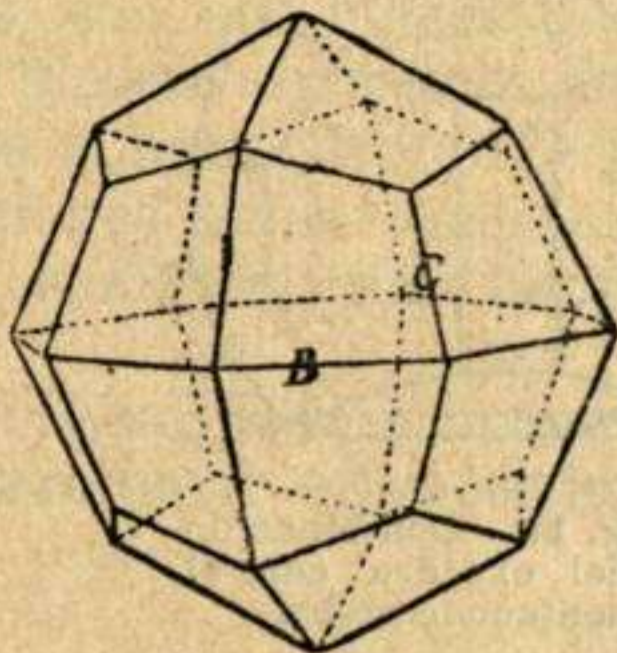


Fig. 31.—Trapezoedro.

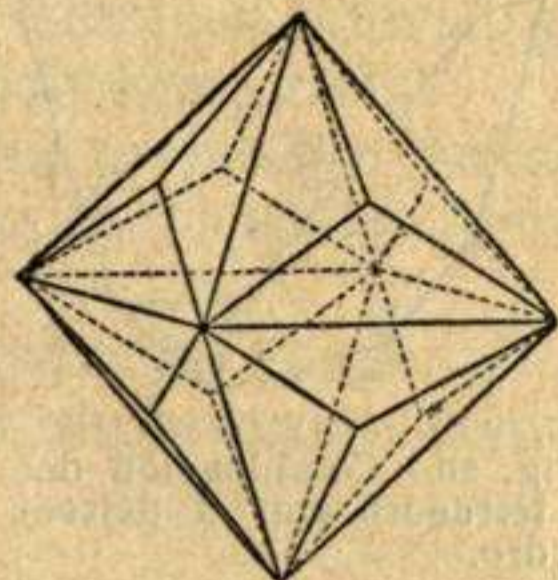


Fig. 32.—Triaquisoctaedro.

Trapezoedro o *icositetraedro* (fig. 31), tiene 24 caras trapezoidales, 48 aristas de dos clases y 26 vértices de tres especies. Granate.

También son formas holoédricas del sistema regular el *triaquisoctaedro* (fig. 32), y el *exaquisoctaedro*, de 24 caras triangulares e isósceles el primero, y 48 escalenas el segundo.

Las formas hemiédricas principales del sistema regular son:

Tetraedro regular (fig. 33), limitado por la mitad de las caras del octaedro; desarrollándose cuatro caras de éste hasta hacer desaparecer las otras cuatro intermedias, se produce dicho sólido, que

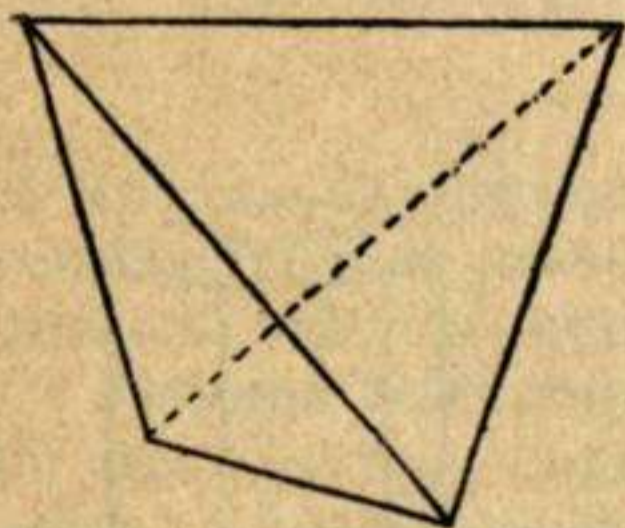


Fig. 33.—Tetraedro regular.

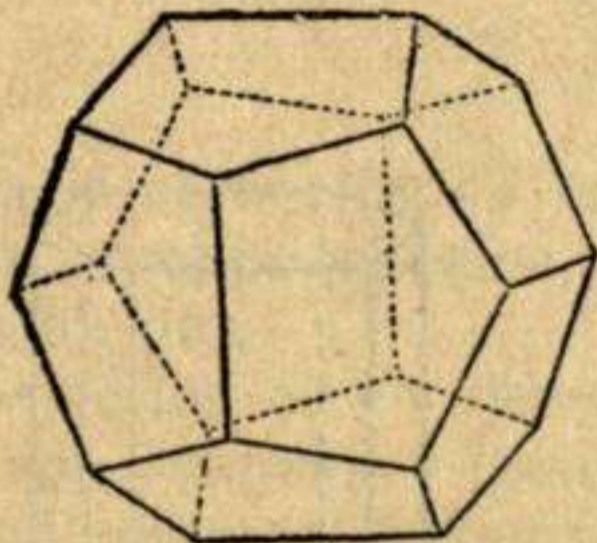


Fig. 34.—Pentadodecaedro.

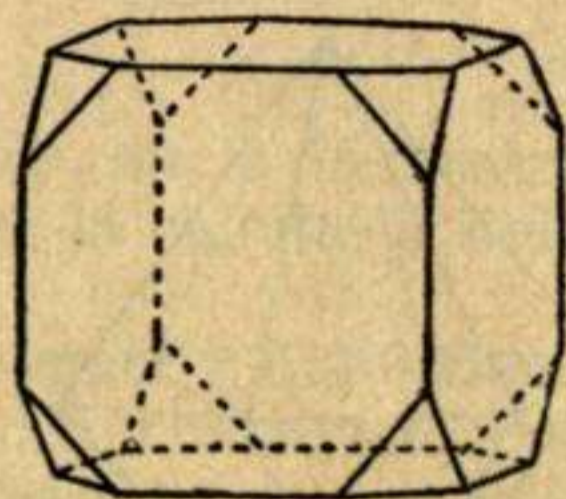


Fig. 35.—Combinación del exaedro con el octaedro.

está limitado por cuatro caras triangulares equiláteras. Tetraedrita.

Dodecaedro pentagonal (fig. 34), formado por la mitad de las caras del tetraquisexaedro. Este sólido puede llamarse *piritoedro*, por ser muy común en la pirita.

Las formas compuestas, aunque numerosas en el sistema regular, son fáciles de comprender; basta observar la forma dominante

y luego ir viendo las posiciones de las otras caras con arreglo a los elementos de simetría de la citada forma. Como más importante, damos las representadas en las cuatro figuras 35 a 38.

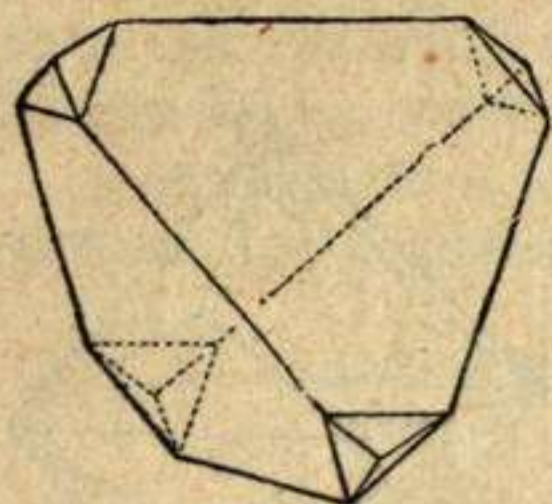


Fig. 36.—Combinación del tetraedro con el deltoedro.

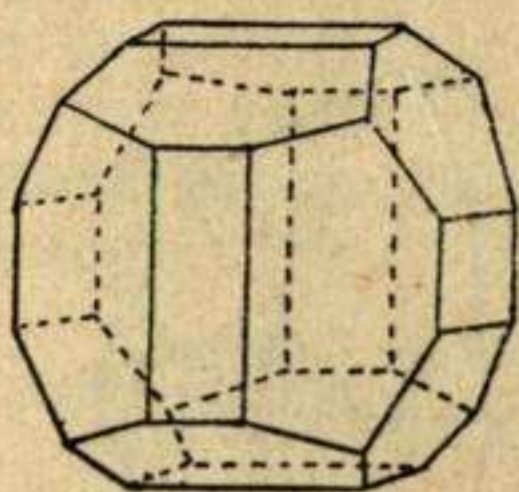


Fig. 37.—Combinación del exaedro con el pentadodecaedro.

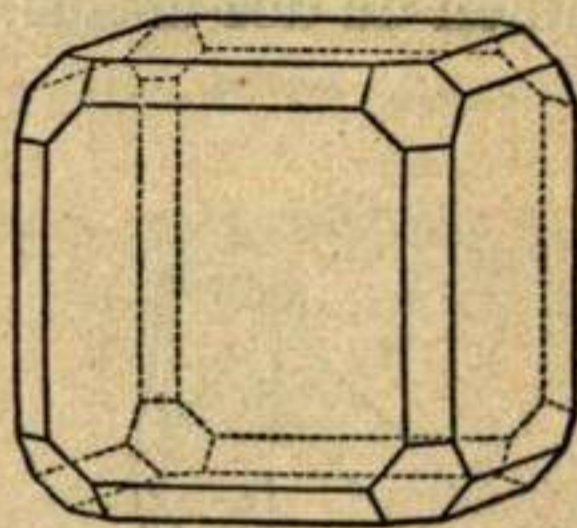


Fig. 38.—Combinación del exaedro con el octaedro y el rombododecaedro.

Sistema exagonal.—Los cristales de este sistema, llamado también *romboédrico*, tienen siete ejes, uno principal de simetría senaria y seis binarios horizontales, iguales entre sí y perpendiculares a aquél.

Las formas holoédricas del sistema en cuestión son pirámides y prismas.

La *pirámide exagonal* (fig. 39) posee 12 caras triangulares isósceles, 18 aristas de dos clases y 8 vértices de dos especies. El eje principal (senario) une los dos vértices superior e inferior exaédricos, y los seis restantes (binarios) unen los vértices y aristas horizontales.

El *prisma* (fig. 40) tiene 6 caras paralelas al eje principal y 6 aristas iguales. Con éstas se combina la base exagonal. Duplicándolo-

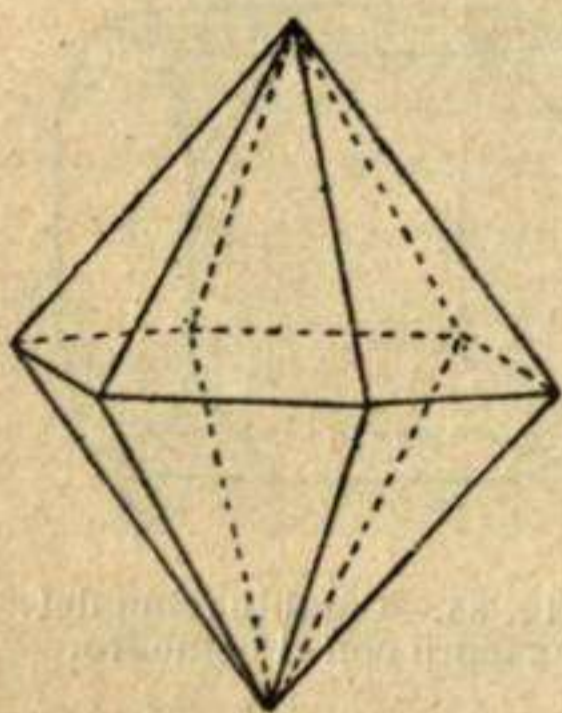


Fig. 39.—Pirámide exagonal.

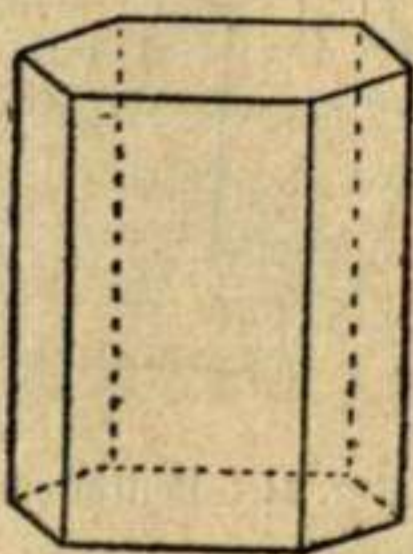


Fig. 40.—Prisma exagonal.

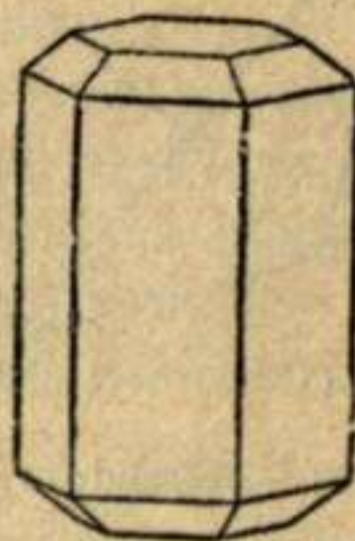


Fig. 41.—Prisma pirámide y base exagonal.

se el número de caras, resulta el *prisma di-exagonal* o dodecágono, y otro tanto puede suceder en la pirámide.

Hay en este sistema dos formas hemiédricas importantísimas, a saber:

Escalenoedro (fig. 42), limitado por 12 caras triangulares esca-

lenas, con aristas polares iguales alternativamente, al paso que las laterales en zigzag son todas iguales; tiene 8 vértices de tres clases. Deriva del desarrollo exclusivo de la mitad de las caras (24) de la pirámide di-exagonal.

Romboedro (fig. 43), sólido limitado por 6 caras rombales, paralelas dos a dos, iguales, con dos clases de aristas y 8 vértices de dos especies. El eje de simetría más alta une los vértices inferior y superior. Esta forma es el hemiedro de la pirámide exagonal.

Entre las combinaciones numerosísimas que se presentan en el sistema que nos ocupa, son frecuentes las representadas en las figuras 25, 26, 41 y 44.

Los minerales que cristalizan en formas holoédricas exagonales son poco numerosos, pero entre ellos los hay tan importantes como

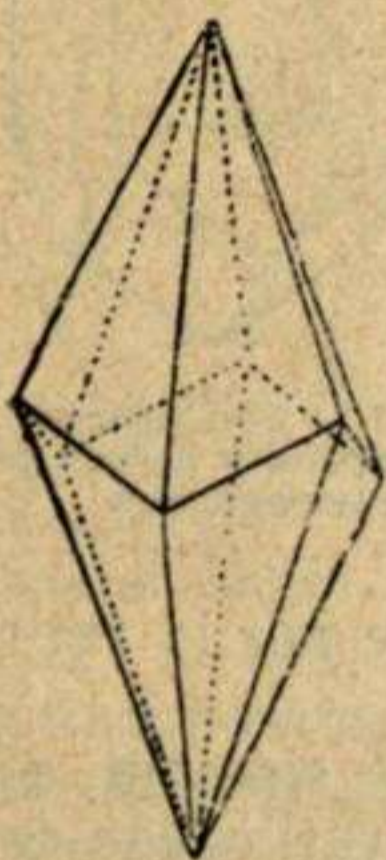


Fig. 42. — Escalenoedro.

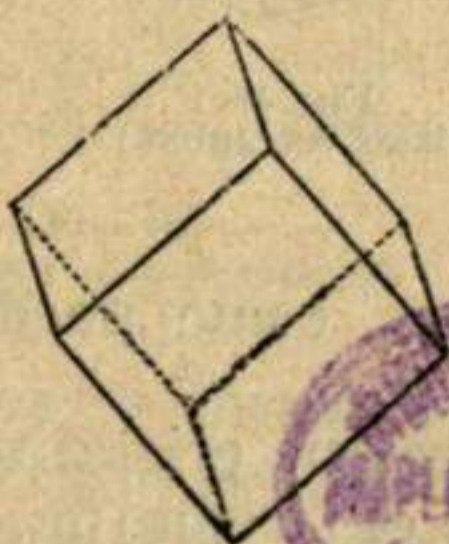


Fig. 43. — Romboedro.

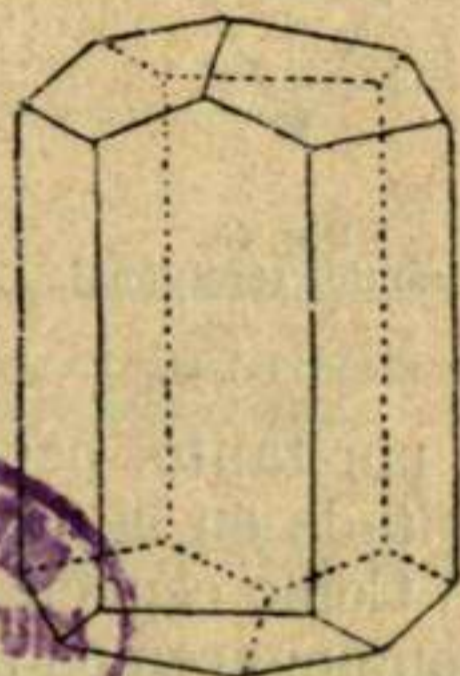


Fig. 44. — Combinación del prisma exagonal y un romboedro.

el apatito, la piromorfita y el berilo; en cambio, en la hemiedría romboédrica se presentan muchas especies, como la calcita, la dolomita, la siderita, el oligisto, etc.

Sistema tetragonal.—De los cinco ejes de simetría que existen en este sistema, cuatro son binarios e iguales dos a dos, mientras que el quinto, considerado como eje principal, es cuaternario y diferente de los demás.

Sus formas holoédricas sencillas son la pirámide (fig. 45) y el prisma tetragonales (fig. 46) con la base, y pirámides y prismas di-tetragonales, cuando se duplica el número de caras.

La *pirámide tetragonal* (fig. 45), que sirve de fundamento a este sistema, está constituida por 8 caras que son triángulos isósceles, 12 aristas de dos especies y 6 vértices de dos clases. El eje principal une los vértices culminantes, y los secundarios, los vértices y las aristas horizontales.

El *prisma sencillo* (fig. 46) es el *recto de base cuadrada*, que los antiguos cristalógrafos franceses tomaban como tipo del sistema.

Tiene 4 caras paralelas al eje principal y 4 aristas: su base es un cuadrado.

Las formas hemiédricas se originan como las del sistema exagonal, pero son muy escasos los minerales que las presentan; la más importante es el *esfenoedro tetragonal* o tetraedro en forma de cuña, de caras isósceles, hemiedro de la pirámide tetragonal, propio de la calcopirita o piritita de cobre.

Las formas compuestas tetragonales son holoédricas casi todas

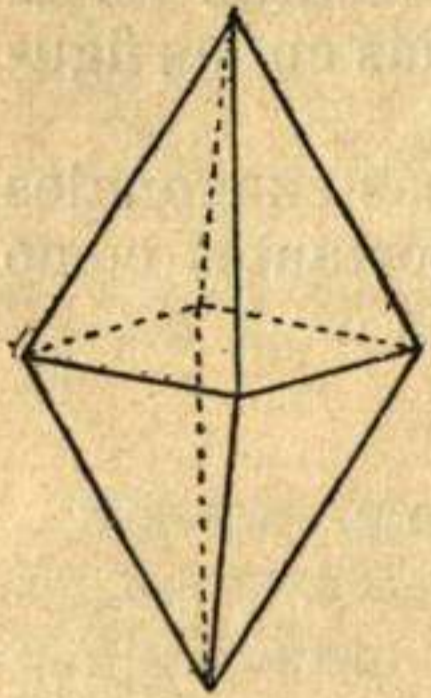


Fig. 45.
Pirámide tetragonal.

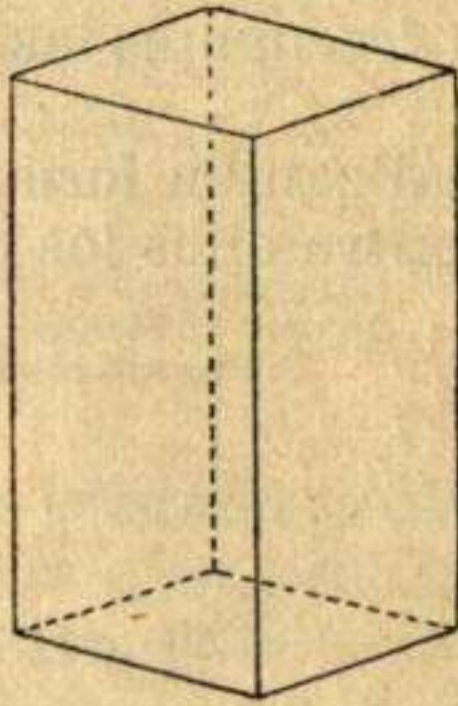


Fig. 46.
Prisma tetragonal.

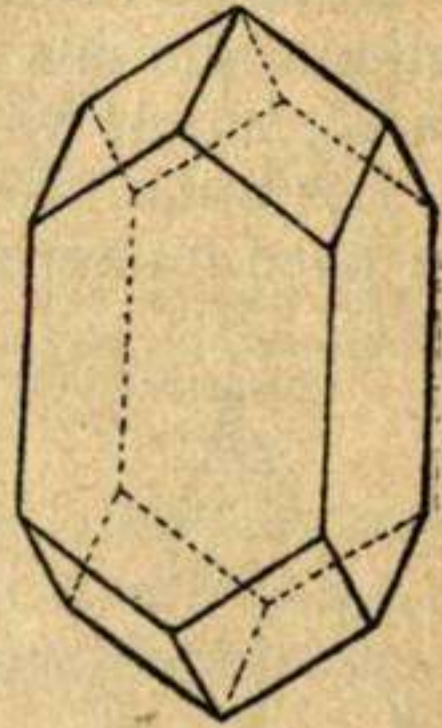


Fig. 47. — Combinación de un prisma y de una pirámide tetragonales.

y, por tanto, poco complicadas, como puede juzgarse por la representada en la figura 47.

Como especies importantes que cristalizan en este sistema, sólo mencionaremos la casiterita, el zircón (fig. 47) y el rutilo, las tres holoédricas, y la calcopirita, hemiédrica.

Sistema rómbico.—Tiene, como sabemos, este sistema tres ejes de simetría binaria desiguales y tres planos de simetría frecuentemente normales entre sí. Como las secciones de estas formas son rómbicas, hay en ellas dos diagonales de desigual longitud, una mayor o *macrodiagonal* y otra menor o *braquidiagonal*, habiéndose convenido en llamar *macroeje* al que sigue a la primera, y *braquieje*, al que lo hace a la segunda.

Las formas sencillas holoédricas del sistema rómbico pertenecen siempre a los tipos *pirámides*, *prismas*, *domos* (macro y braquidomos), o sea caras prismáticas horizontales (figuras 50 y 51), y *pinacoides* (macro y braquipinacoides), que son bases de las formas prismáticas, tanto verticales, laterales y antero-posteriores como horizontales, las cuales no existen solas.

La *pirámide rómbica* (fig. 48) tiene 8 caras en forma de triángulos escalenos, 12 aristas de tres clases y 6 vértices de tres especies. Los ejes unen estos vértices.

El *prisma* (fig. 49) es el llamado por los franceses *recto de base rombica* u *ortorrómbico*, que toman como tipo del sistema; en él hay, además de éste, que se llama prisma vertical, uno paralelo al macroeje, denominado *macrodomo* (fig. 50), y otro que lo es al braqui-

eje y recibe el nombre de *braquidomo* (fig. 51); estos dos últimos son los prismas horizontales.

De las formas hemiédricas de este sistema sólo tienen alguna importancia el *esfenoedro rómbico*, que se distingue del tetragonal porque sus caras son triángulos escalenos. De las compuestas, que son bastante numerosas, van representadas como ejemplos algunas en las figuras 52, 53 y 54.

Los minerales más importantes que cristalizan en este sistema son, entre otros, la baritina, la celestina, el aragonito, la cerusita

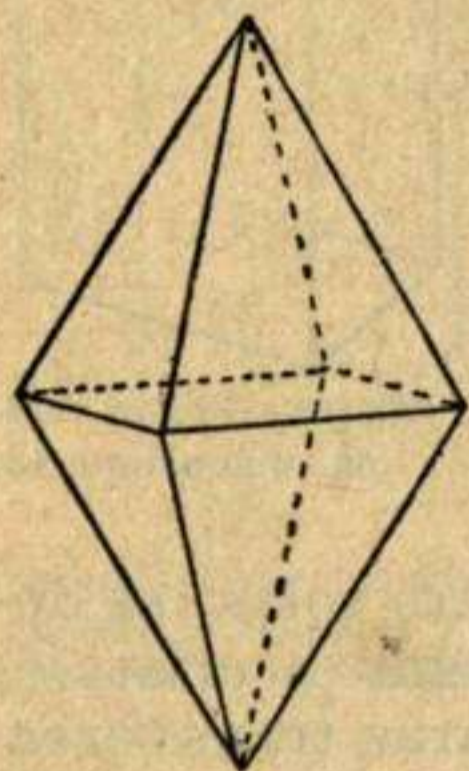


Fig. 48.
Pirámide rómbica.

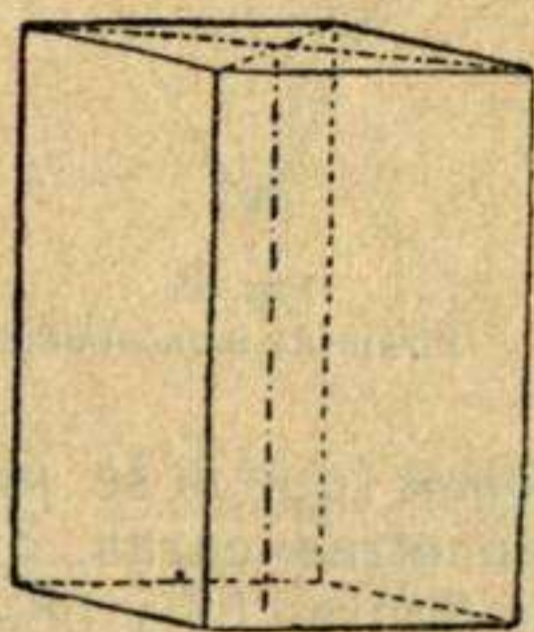


Fig. 49.
Prisma rómbico vertical.

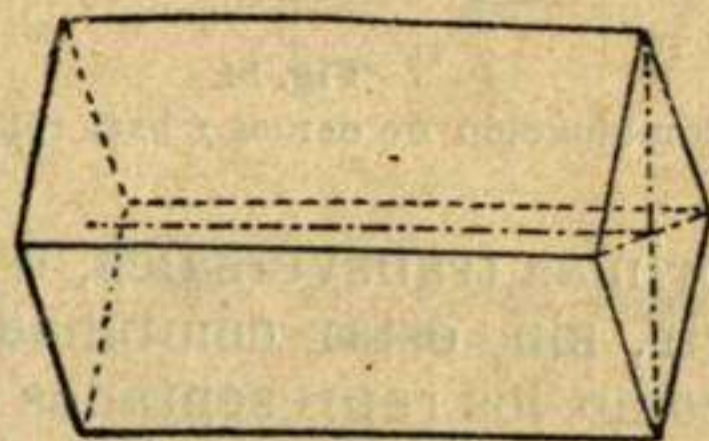


Fig. 50. — Domo lateral o transverso en el sistema rómbico.

y la antimonita, todos ellos en formas holoédricas: la epsomita en la hemiedría esfenoédrica y en ambas el azufre.

Sistema monosimétrico.—Los cristales de este sistema, llamado también *monoclínico*, poseen un solo plano de simetría, que es binario.

La *pirámide monosimétrica* (fig. 55), que es la forma fundamental, ofrece 8 caras, que son triángulos escalenos de dos clases, 12 aristas y 6 vértices, ambos de tres clases.

El *prisma vertical monosimétrico* (fig. 56), llamado también *clino-*

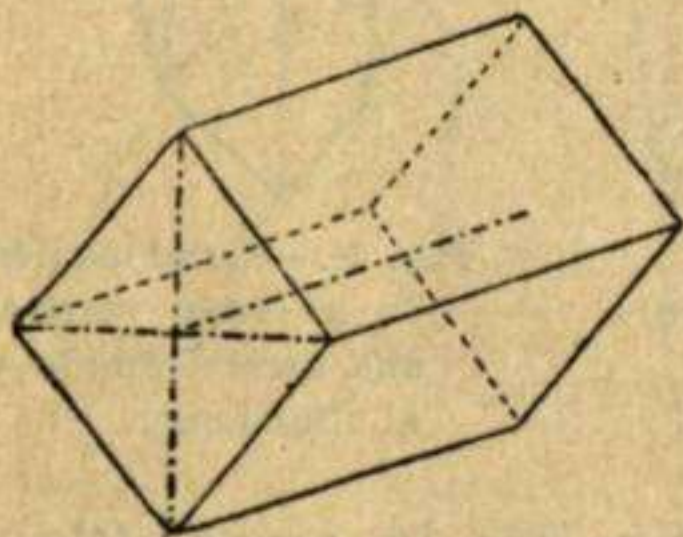


Fig. 51.
Domo anteroposterior en el sistema rómbico.

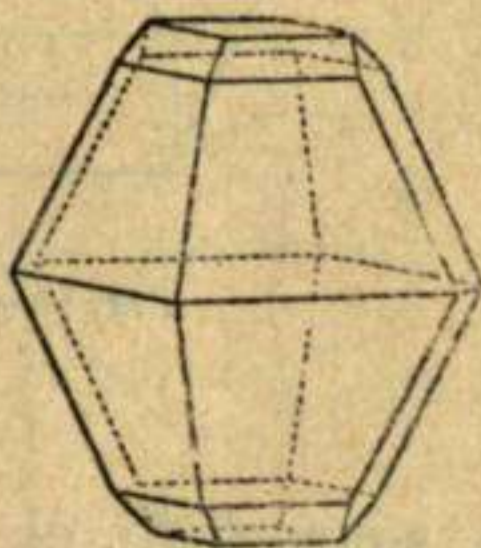


Fig. 52. — Combinación de pirámides y base rómbicas.

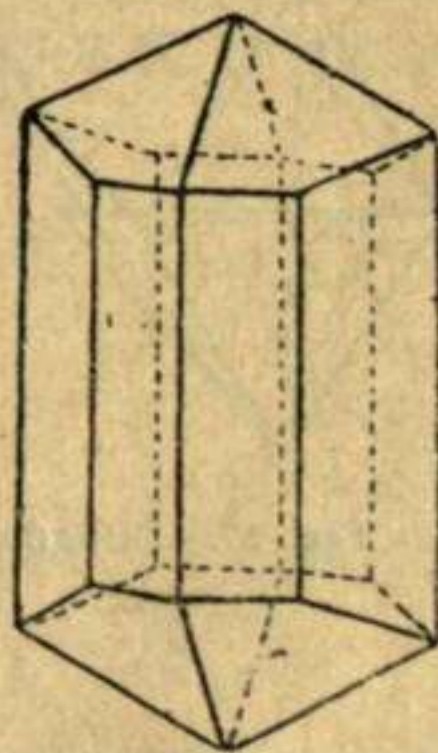


Fig. 53. — Combinación de prismas verticales y pirámide rómbicos.

rómbico y prisma oblicuo de base romboidal, tiene cuatro caras de forma de paralelogramo y dos bases de forma rómbica igualmente inclinadas en una sola dirección. Además, hay en este sistema un prisma vertical, paralelo al eje de simetría *c*, *clinoprismas* o *clinodomas*,

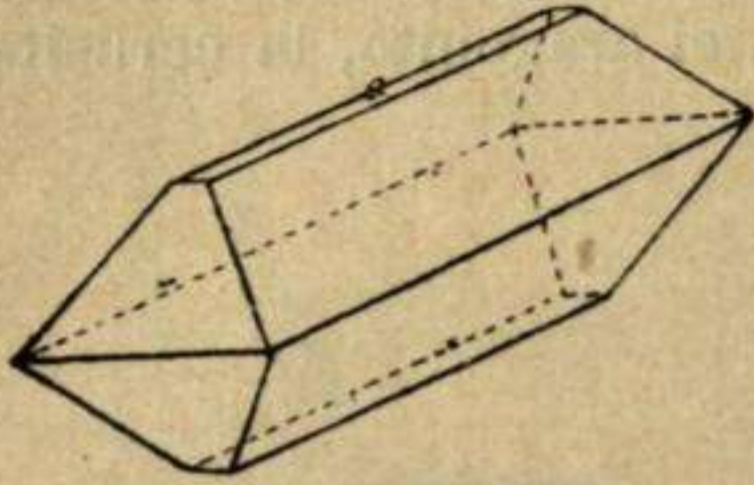


Fig. 54.

Combinación de domos y base rómbicos.

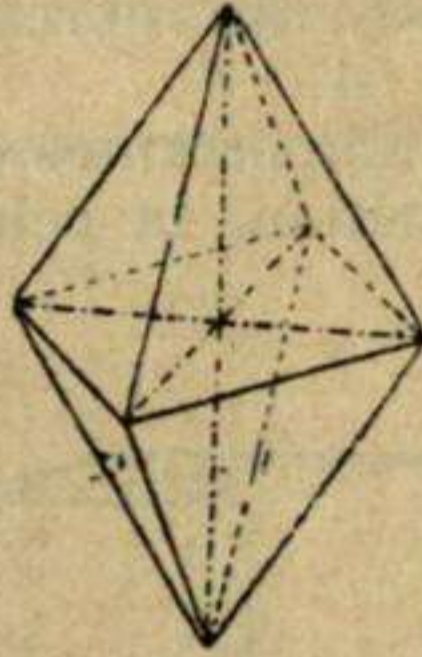


Fig. 55.

Pirámide monosimétrica.

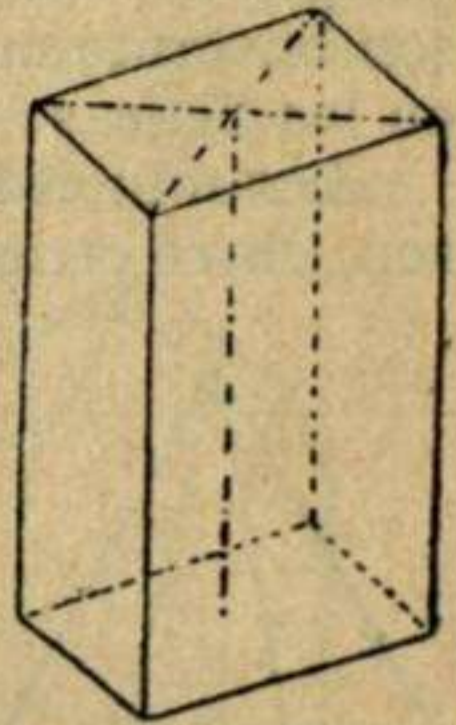


Fig. 56.—Prisma vertical monosimétrico

prismas transversales, u *ortodomas* (que si se presentan solas, es decir, sin estar combinadas con otras caras, dan lugar a cristales como los representados en las figuras 57 y 58), y caras transversales llamadas *ortopinacoides*, longitudinales, *clinopinacoides* (fig. 59), y terminales, *pinacoide básico*.

Las formas compuestas que resultan de la combinación de tantos elementos son variadas, y de algunas de las más importantes dan idea las figuras 59, 60 y 61.

Entre los minerales más importantes que cristalizan en este sis-

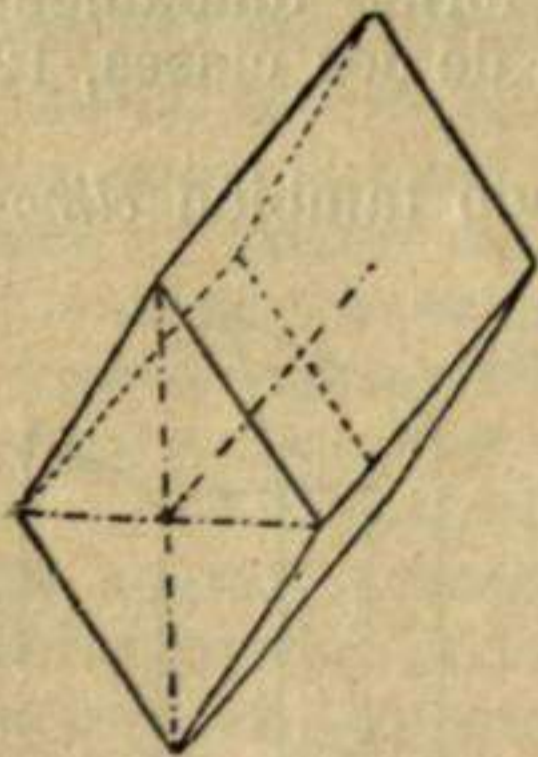


Fig. 57.—Clinodomo.

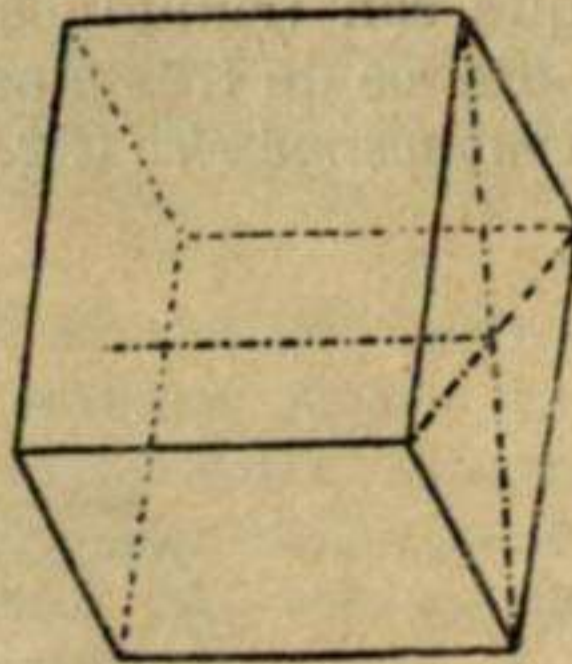


Fig. 58.—Ortodomo.

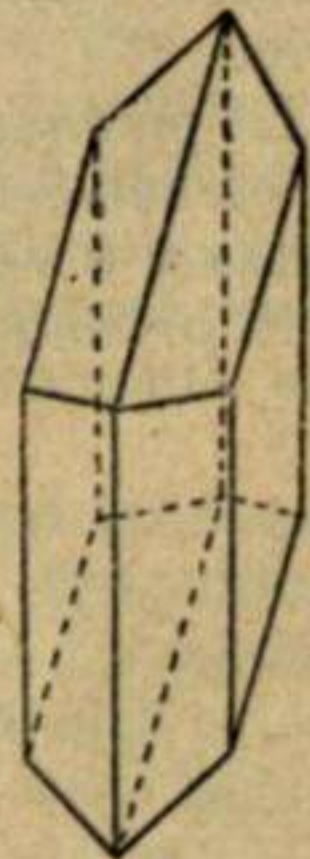


Fig. 59.—Combinación de prisma vertical una hemipirámide y el clinodomo.

tema merecen citarse, sobre todo, el yeso (fig. 59), la augita (figura 60), el feldespato ortoclasa (fig. 61), las micas, la malaquita y la azurita.

Sistema asimétrico.—Los cristales de este sistema, llamado también *triclínico*, no poseen ningún plano ni eje de simetría, siendo, por consiguiente, el menos simétrico de todos. Sus formas están constituidas exclusivamente, cuando más, por un par de caras opuestas, paralelas e iguales.

La *pirámide asimétrica* consta de 8 caras triangulares escalenas, de cuatro clases diferentes; 4 aristas ecuatoriales de dos cla-

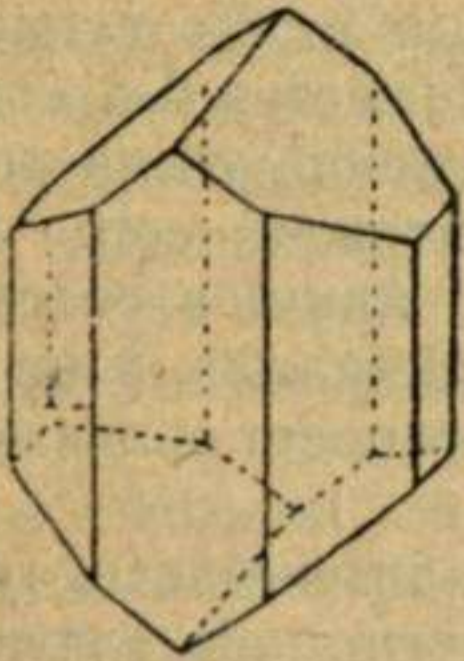


Fig. 60. — Combinación de prisma, pinacoides y clinodomo monosimétricos.

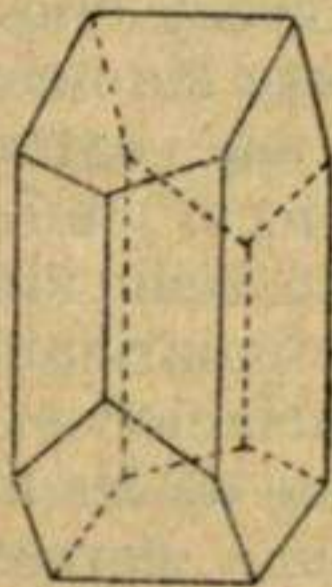


Fig. 61. — Combinación de prisma, clinopinacoides, hemitortodomo y pinacoides básicos (Monosimétrico).

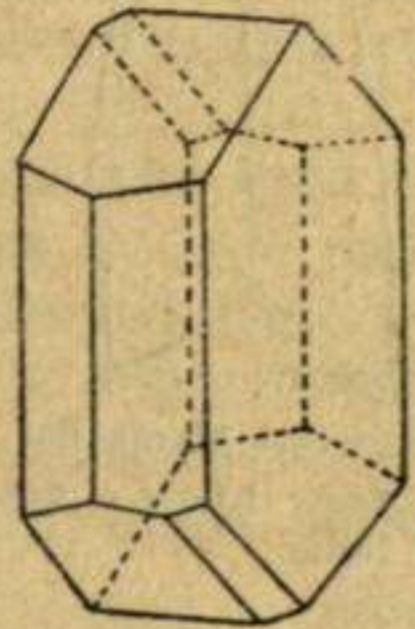


Fig. 62. — Cristal asimétrico de albíta.

ses, 8 polares iguales dos a dos y 6 vértices de tres clases. Las demás formas del sistema son análogas a las del anterior, pudiendo ser de naturaleza prismática (prismas y domos), piramidal o básica (pinacoides), con respecto a ejes arbitrarios que se consideran en el cristal, pero no presentándose nunca estas formas aisladas unas de otras. En este sistema no pueden existir verdaderas formas hemidrícas.

Son escasos los minerales asimétricos, siquiera algunos de ellos, y especialmente algunos feldespatos, como los representados en las figuras 62 y 63, tengan gran importancia, como veremos al ocuparnos de ellos.

Maclas.—Los cristales de la misma naturaleza se agrupan frecuentemente, según leyes determinadas, dando lugar a veces a

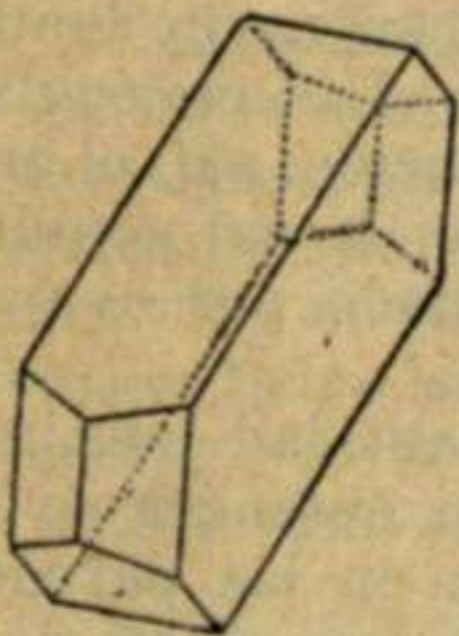


Fig. 63. — Cristal asimétrico de Labrador.

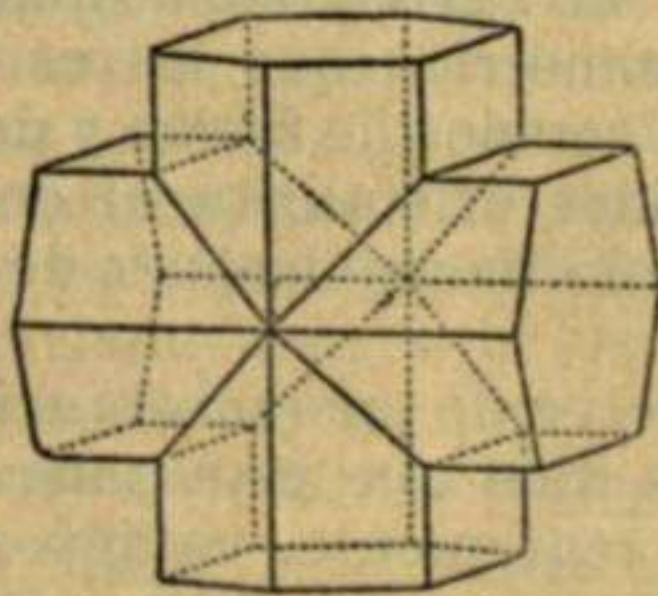


Fig. 64. — Macla de la estaurolita (piedra de cruz).

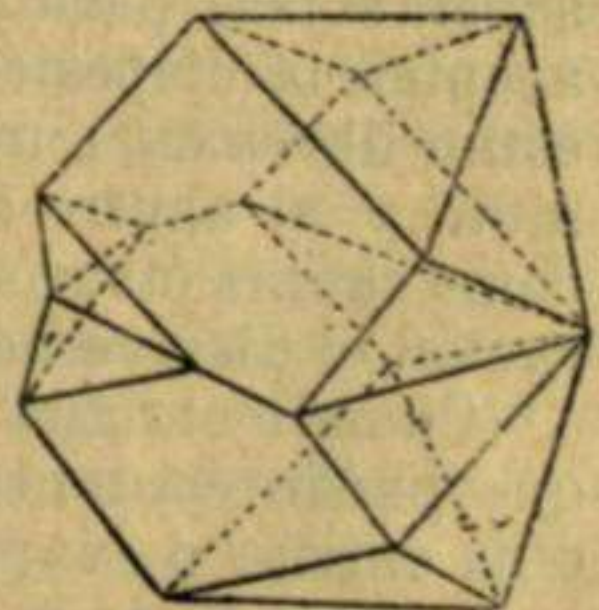


Fig. 65. — Macla de la casiterita (pico del estaño).

agregados que simulan individuos únicos, pero casi siempre reconocibles por la presencia de ángulos entrantes. Tales son las maclas.

Ofrece cada uno de los cristales maclados sus elementos cristalográficos en posición cruzada (fig. 64), oblicua un cierto número de



Fig. 66.—Macla del yeso (hierr o de lanza).

grados (fig. 65) y más frecuentemente invertida (figura 66) con respecto al otro. Generalmente, la unión se verifica según un plano que es una cara común a los dos cristales, y en este caso, cada uno de ellos, visto aisladamente, aparece como un medio cristal; pero otras veces uno invade los dominios del otro, produciéndose las maclas de penetración, y aun puede suceder que exteriormente aparezcan como individuos únicos, y en este caso sin ángulos entrantes, que sólo reducido a secciones delgadas, y en el microscopio polarizante, es dado reconocer como verdaderas asociaciones.

El estudio de las maclas es muy interesante, porque cada una corresponde a determinada especie mineral, de la cual es propia, como las representadas en las tres precedentes figuras.

Irregularidades de los cristales.—Rara vez se presentan éstos con la perfección que teóricamente hemos venido considerando hasta aquí. El valor de los ángulos diedros es invariable, como queda dicho, pero las caras pueden ofrecer desarrollo muy diferente; así, hay cubos que las presentan tan desigualmente desarrolladas, que no parecen pertenecer a esta forma a la simple vista; los cuarzos suelen ofrecer deformaciones muy curiosas. También las caras, en vez de ser planas, aparecen a menudo convexas, socavadas o estriadas, y no es raro que tengan cavidades poliédricas, como sucede a la sal común. Artificialmente es dado provocar estas cavidades empleando agentes que ataquen al mineral, produciéndose así las *figuras de corrosión*, de que se saca hoy mucho partido para el estudio de las propiedades cristalográficas.

Cristalización.—Los medios empleados por la Naturaleza para la producción de los cristales son en esencia los mismos que se practican en los laboratorios; pues, en último término, todos los procesos, cristalogénicos consisten en poner en libertad las moléculas de las substancias, para que, al agruparse después, de un modo lento, acepten la disposición simétrica que les es propia. Las moléculas están libres durante los estados de fusión y de disolución; así, el bismuto y el azufre fundidos cristalizan al enfriarse; la sal común, como tantas otras sales, lo hacen después de eliminado por evaporación el disolvente.

Cuando el agua disuelve de una substancia la cantidad máxima que puede contener, se dice que está *saturada*; si entonces se la deja enfriar o evaporar lentamente, va depositando en las paredes y en el fondo de la vasija que la contiene cristales que están normalmente terminados sólo en su extremo libre, como sucede con

los naturales que se presentan tapizando las cavidades interiores o grietas de otras sustancias (geodas). Los cristales aislados y completos no pueden obtenerse así: es necesario para ello suspender con una fina hebra de seda o hilo un cristal de la misma sustancia dentro de una disolución saturada del cuerpo que se quiere obtener cristalizado. El agua puede contener disueltos diversos cuerpos a la vez y de uno mismo cantidades tanto mayores cuanto más elevada sea la temperatura (1), lo cual explica las asociaciones que se presentan en la Naturaleza de cuerpos salinos y el orden de sucesión inverso a su solubilidad, con que aparecen éstos en los parajes que fueron fondos de antiguos mares o lagos salobres.

Algunas sustancias cristalizan por vía de *sublimación*, esto es, pasando del estado de vapor al sólido, sin estar antes de éste en el líquido. Tal es el origen de los cristales de cloruro de sodio, de potasio, de amoníaco y de hierro que suelen existir en la superficie de los cráteres. Ciertos minerales que cristalizan habitualmente por otros medios pueden hacerlo también por sublimación; otros deben exclusivamente a ella su existencia.

Tamaño de los cristales.—Ordinariamente es variable éste aun dentro de una misma especie; pero los hay en que las diferencias son tan grandes, que oscilan entre algunas centésimas de milímetro y uno o más decímetros; en muchas rocas, los feldespatos, piroxenos, micas, magnetita, apatito, etc., son perceptibles sólo con el microscopio, y se designan con el nombre de *microlitos*, al paso que en ocasiones los cristales de estas sustancias se hacen voluminosos: hasta 80 cm. y 1 m. alcanzan algunos de cristal de roca, habiéndose hallado en la sierra del Guadarrama ejemplares que pesaban 90 Kg., y en Galicia, berilos en cristales completos de 2 dm. de altura y que pesaban cerca de 6 Kg. Otros varios minerales suelen presentarse también en cristales voluminosos, aunque no tanto como los ahora indicados; pero no son éstos los más perfectos, por lo mismo que han tardado más en formarse, y porque, ocupando mucho espacio, han hallado más obstáculo a su normal desarrollo.

AGREGADOS CRISTALINOS

Configuraciones no geométricas.—Los cristales libres o agrupados, pero con sus elementos completos, son bastante escasos, comparativamente con las sustancias minerales constituidas por agregados de granos cristalinos, las más veces microscópicos, que carecen de un contorno exterior geométrico, pero que tienen, sin embargo, todas las propiedades físicas de los cristales. Tal sucede, por ejemplo, en el mármol estatuario, que, reducido a sección transparente y visto al microscopio, ofrece el aspecto que muestra la figu-

(1) Por excepción, la sal común se disuelve en iguales proporciones en el agua fría que en la caliente, hasta los 100° C., y el yeso y la calcita se disuelven más en frío que en caliente.

ra 67. Estas masas minerales llevan el nombre de *agregados cristalin*os y resultan de haberse producido simultáneamente gran número de cristales en un espacio insuficiente, de cristalizar con demasiada rapidez por efecto de la excesiva saturación del disolvente o de cambios moleculares acaecidos en la masa después de consolidada.

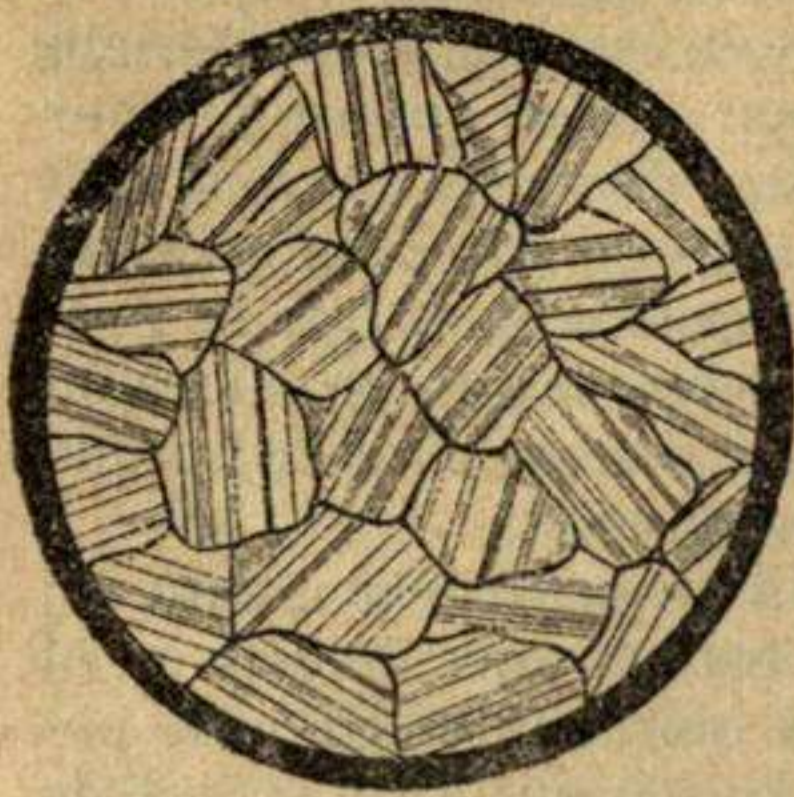


Fig. 67.—Estructura cristalina.

Los cristales se agrupan, a veces, sobre las materias minerales, constituyendo las *drusas*, o tapizando las paredes de las cavidades, y se llaman entonces *geodas* (fig. 93). En unas y otras, la base puede ser de igual o de distinta especie que los cristales sobre ella asentados, como, por ejemplo, de pirita sobre cuarzo o, por el contrario, drusas de calcita sobre masas de la misma

substancia, que son muy frecuentes.

Formas imitativas.—Se llaman así las que ofrecen los agregados cristalinos que recuerdan con mayor o menor exactitud objetos diversos, como corales (*coraloide*), ramas de árboles (*dendrítica* o *arborizada*, fig. 68), musgos (*musgosa*), almendras (*amigdaloid*e), riñones (*reniforme*), etc. El relleno de los pequeños espacios vacíos y grietas de las rocas por minerales cristalinos da lugar a formas prestadas que afectan cierta regularidad, como enrejados o panales.

Pseudomorfismo.—Es un caso particular de las formas imitativas que por su importancia merece tratarse separadamente. Aplicase el nombre de *pseudomorfosis*, que quiere decir *falsas formas*, a ciertos cuerpos cristalinos o amorfos que presentan conformaciones geométricas correspondientes a otros minerales, como, por ejemplo, la limonita con forma de cubos de pirita. Muchas veces basta partir el mineral para ver que interiormente es amorfo o está constituido por una substancia distinta de aquella a que imita.

En ocasiones resultan las pseudomorfosis del depósito mecánico de una substancia mineral sobre las caras de un cristal, o rellenando un espacio en que quedaron reproducidas las formas de aquél, como en un vaciado; pero en otros casos se opera una sustitución química (*epigénesis*) total o parcial de la materia de éste sin pérdida de su forma, de una manera semejante a las *petrificaciones* o conformaciones que presentan los restos orgánicos convertidos en substancias minerales diversas, como la madera en ópalo y otras varias sustituciones, de que nos ocuparemos oportunamente.

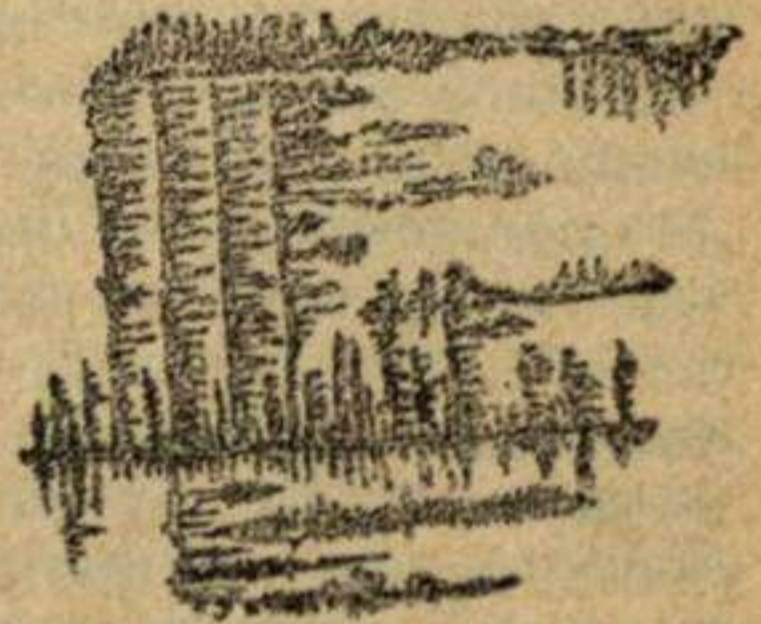


Fig. 68.—Dendrítica formada por agrupación de pequeños octaedros.

Estado amorfo.—El estado *amorfo*, como oposición al cristalino, es muy raro en el mundo mineral, pues aun la mayoría de las sustancias pétreas que no presentan exteriormente forma regular alguna ni indicios ostensibles de estructura cristalina revelan esta última cuando se las examina en secciones delgadas con el microscopio polarizante. Como ejemplos de sustancias minerales verdaderamente amorfas, en las cuales las moléculas se encuentren agregadas sin orientación alguna, apenas pueden citarse más que el ópalo, la limonita y las *substancias vítreas* (obsidiana, pómez y otras materias análogas de las rocas volcánicas). Pertenecen todas ellas a los cuerpos que los físicos llaman *coloides*, es decir, a los incapaces de cristalizar ni pasar a través de una membrana animal, cuando están en disolución, y que con frecuencia se presentan en estado pastoso o de jalea, o se han hallado en él antes de endurecerse.

En el seno de las sustancias vítreas se observan casi siempre algunas formaciones cristalinas microscópicas que se han originado allí (fig. 71, *D*), de donde se ha inferido que, en el transcurso del tiempo, la masa vítrea se cambia en cristalina, a cuyo proceso se ha llamado *desvitrificación*. De esta suerte, el estado amorfo parece ser solamente transitorio en las sustancias minerales, las cuales, evolucionando, pasan de un estado homogéneo (de disolución, de fusión o coloide) a otro de individualización cristalina.

ESTRUCTURA MACRO Y MICROSCÓPICA

Estructura.—El modo de agregarse las partículas de los minerales constituye lo que se denomina *estructura*. Estas agregaciones son variadísimas y reciben muchas de ellas nombres especiales, pudiendo reducirse a tres tipos principales o estructuras, que son *fibrosa*, *hojosa* y *granuda*, según se desarrollen los elementos constitutivos del mineral en una línea, en un plano o en todas direcciones.

El primer tipo comprende, yendo de menor a mayor, las estructuras llamadas *capilar*, cuando el mineral está constituido por hebras rectas, finas como cabellos, como aparece a veces la antimonia; *fibrosa propiamente dicha* (amianto, yeso fibroso), y *bacilar*, si los elementos alcanzan el tamaño de alambres más o menos gruesos (calcita estalactítica, turmalina). Cuando los elementos alargados de que tratamos, en vez de disponerse paralelamente en manojos, lo hacen radiantes, pero

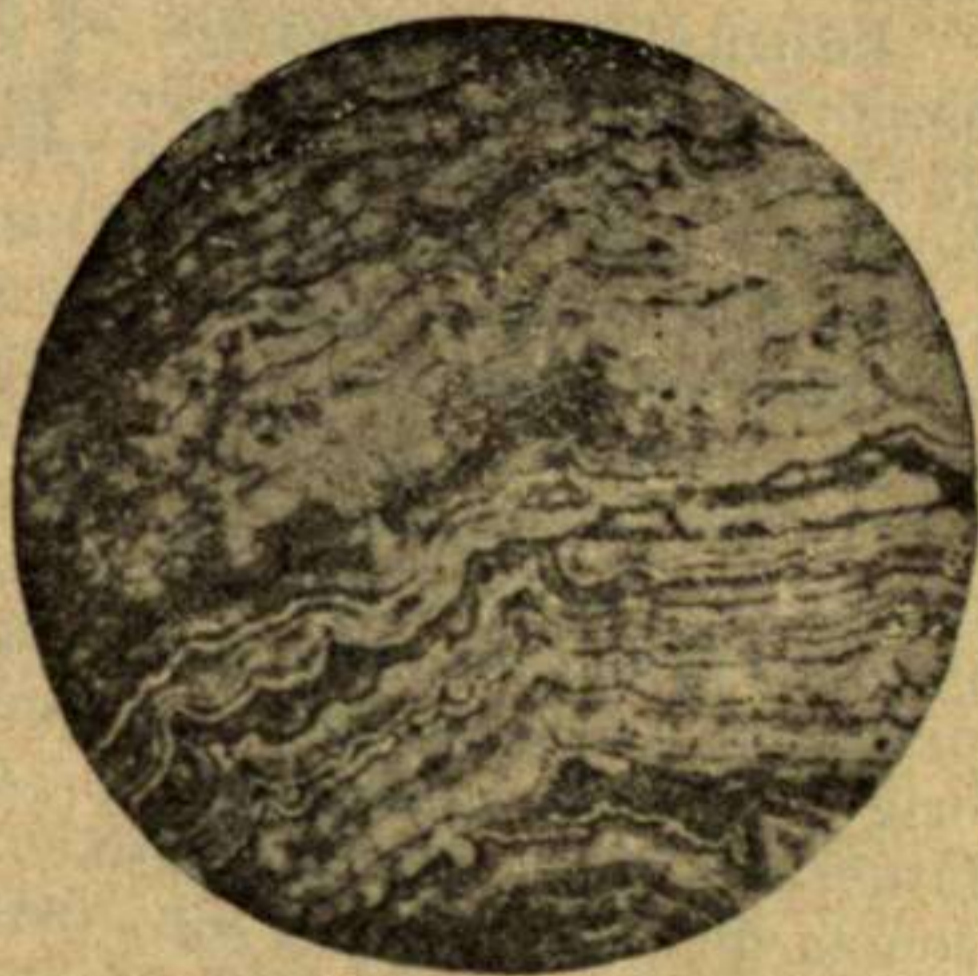


Fig. 69.—Estructura conereccionada.

en un solo plano, se dice que la estructura es *radiada*, y *esferular*, si divergen de un centro en todos sentidos.

El segundo tipo, o sea aquel en que las partículas se agregan según un plano, constituye la estructura *hojosa* o *laminar*, dentro de la cual se incluyen las variedades *foliácea* o en hojas (yeso selenita), *escamosa* (oligisto micáceo), *pizarrosa*, etc. Las hojas pueden ser curvas y alabeadas, como en las variedades *concrecionadas* (figura 69), o concéntricas, originando esferas, que si tienen el tamaño de un guisante, se dicen *pisolitas*, y si el de un huevo de pescado, *oolitas* (fig. 70); también pueden envolverse concéntricamente las capas en sentido longitudinal, como sucede en las estalactitas.



Fig. 70.—Sección de un mineral oolítico.

La estructura granuda puede ser *gruesa* o *fina*, según el tamaño de los elementos. Se dice *sacaroides* la que simula el azúcar de pilón, agregado cristallino que ofrece al microscopio, en sección delgada, el aspecto que indica la figura 67 a que ya nos hemos referido.

Usase mucho el calificativo de estructura *compacta*, que en realidad no puede incluirse en ninguno de los tres grupos mencionados, pues consiste en estados microscópicos de diversas variedades de aquéllos. Suele suceder, por último, que estos finos elementos agregados estén débilmente unidos, dejándose separar con ligero esfuerzo, que es a lo que suele denominarse estructura *terrosa*.

Inclusiones.—Practicando secciones delgadas de los minerales, tanto cristalizados como cristalinos y amorfos, se descubren en su interior diferentes materias, que se llaman colectivamente *inclusiones*. Su estudio es interesantísimo, porque proporciona datos preciosos para indagar el origen de las sustancias minerales y porque la presencia de estos cuerpos extraños explica las coloraciones y juegos de luz de algunos, así como las aparentes irregularidades que otros ofrecen en su composición química, las cuales son consecuencias de analizar el mineral con los que aprisiona.

Antes hemos dicho (página 85) que en el seno de las sustancias

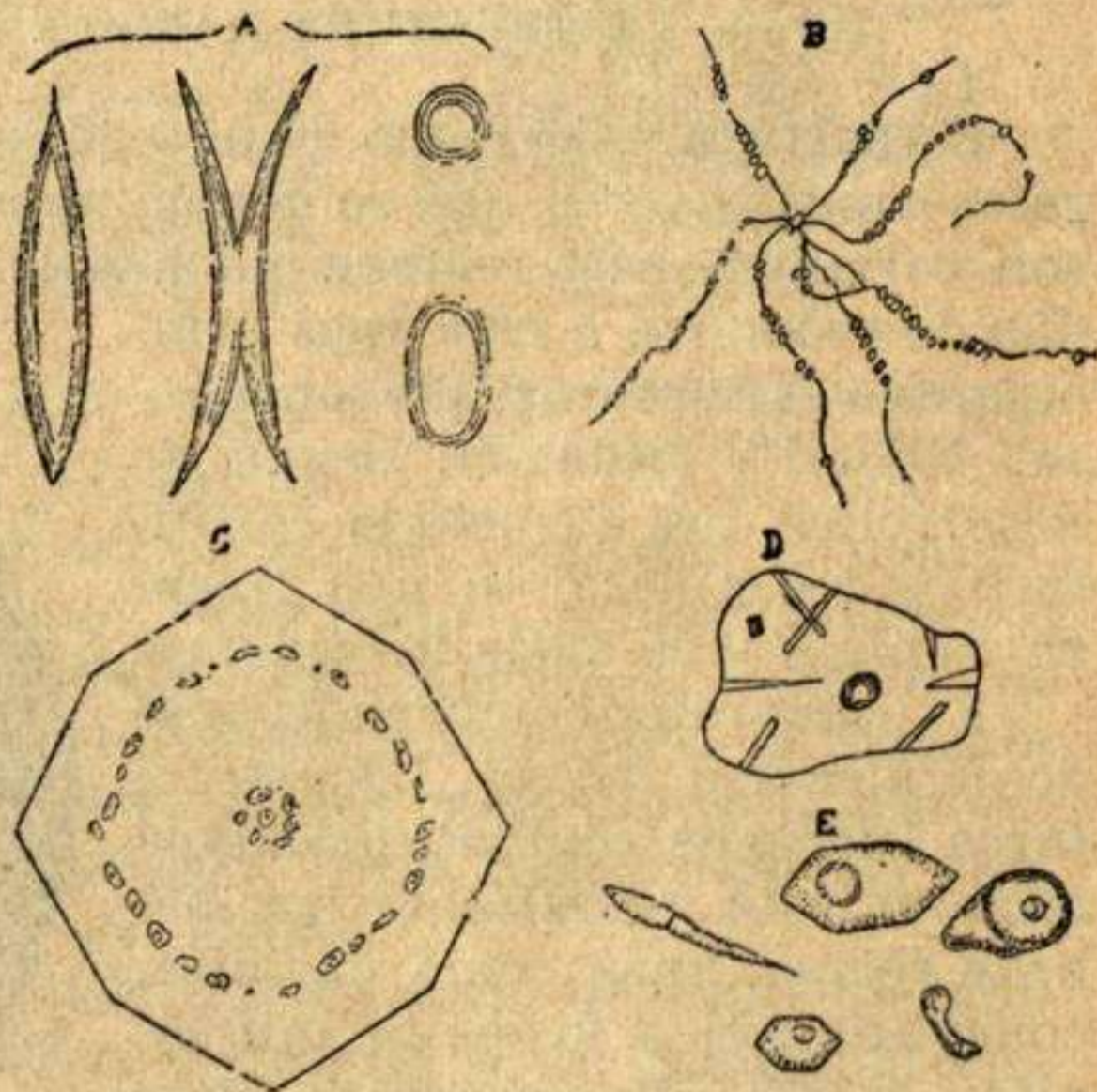


Fig. 71.—Cristalitos e inclusiones microscópicas.

vitreas descubre el microscopio pequeñas materias cristalizadas. Suelen consistir éstas en partículas que se encuentran todavía en un estado de transición entre el amorfo y el individualizado, afectando la apariencia de diminutas esferas, barras, filamentos rectos o curvos, tan pronto aislados como agrupados en formas caprichosas, que se llaman colectivamente *crystalitos* (fig. 71 A, B y D).

Es muy frecuente que existan dentro de los cristales partículas de materia vítrea u otros cristales mucho más pequeños (*micro-litos*), englobados al desarrollarse el que los contiene, y, lo que es más notable, cavidades que encierran líquidos y aun burbujas gaseosas que se están moviendo constantemente (fig. 71, E). Cuando se observan con el microscopio secciones delgadas y transparentes de cristal de roca, sal común, diamante, topacio, berilo, etc., se reconoce que es una excepción el que no alberga semejantes cavidades, casi siempre pequeñísimas y aprisionando gases, líquidos o ambas cosas a la vez. Los líquidos suelen ser agua más o menos pura, y, lo que es sorprendente, anhídrido carbónico en estado líquido, que prueba la enorme presión bajo la cual se consolidó el mineral que le contiene (1). En la mayoría de los casos, las inclusiones están distribuidas de un modo irregular, pero en otros se hallan en zonas (fig. 71, C), y aun radialmente de un modo simétrico.

Física mineral.

COHESIÓN Y ELASTICIDAD DE LOS MINERALES

Fractura.—Al romper los minerales se producen superficies de distintos aspectos y condiciones, según la estructura, dando lugar a las *fracturas astillosa, plana u hojosa, terrosa, irregular, concoide*, etcétera. Esta última la presentan las substancias muy compactas y de grano fino, en las que se originan superficies que recuerdan groseramente el exterior o el interior de una concha; las demás denominaciones no necesitan explicación para comprender su significado. Sirve la fractura para poner de manifiesto la estructura, y el mineralogista saca por ello en la práctica mucho partido de este carácter físico en el reconocimiento de las especies.

Exfoliación.—Es la propiedad característica que ofrecen la mayor parte de los cristales y de las substancias cristalinas de dividirse al ejercer sobre ellos un esfuerzo según determinadas direcciones, que son *planos de exfoliación* o *cruceros*, como se los denomina. La sal común o la galena, por ejemplo, se deshacen en cubos cuando se las golpea; la fluorita, en fragmentos, octaédricos y en trozos romboédricos de $105^{\circ} 5'$, la calcita, es decir, que los minerales cristalizados o cristalinos de una misma especie poseen igual exfoliación, lo cual da un gran valor al carácter de que se

(1) El anhídrido carbónico se liquida a una presión de 36 atmósferas, manteniendo la temperatura a 0° .

trata, pues muchas veces por dichos planos puede determinarse el sistema a que pertenece un ejemplar, aunque carezca de forma regular externa.

Se clasifican los cruceros en *fáciles* y *difíciles*; así, los cristales de yeso poseen tres exfoliaciones, según una de las cuales es muy fácil dividirlos en hojas o láminas, y otras dos perpendiculares a la anterior y oblicuas entre sí, que son más difíciles, y de ellas, una lo es más que otra. Los cruceros son paralelos, por lo general, a las caras de los cristales, y en todo caso están subordinados siempre a la simetría propia de cada sistema.

En algunos minerales es dado obtener con ayuda de un cuchillo de punta roma, y siguiendo los distintos planos, una forma geométrica completa, producida por intersección de éstos, que se llama *sólido de exfoliación*.

Dureza.—Es la resistencia que oponen los cuerpos sólidos a ser rayados, propiedad que depende de la atracción intermolecular de los mismos. Werner clasificaba los minerales por lo tocante a ella en *duros*, *semiduros*, *blandos* y *muy blandos*, entendiéndose por los primeros los que dan chispas con el eslabón y no se dejan rayar con la navaja; los segundos, los que lo hacen con ella difícilmente; blandos, los que con ella se rayan y se cortan, y muy blandos, los que se rayan con la uña. El mineralogista Mohs dió más exactitud a la apreciación de este carácter, estableciendo una serie escalonada de diez minerales de distinta dureza, que pudieran servir de tipo de comparación, la cual se admite todavía en la práctica corriente con el nombre de *escala de dureza de Mohs*, y que, del tipo más blando al más duro, es la siguiente:

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| 1. Talco laminar. | 6. Ortosa. |
| 2. Yeso cristalizado. | 7. Cristal de roca. |
| 3. Espato calizo. | 8. Topacio. |
| 4. Fluorita. | 9. Corindón. |
| 5. Apatito. | 10. Diamante. |

Para evaluar la dureza sirviéndose de esta escala, se ensaya rayar el cuerpo por cada uno de los minerales, comenzando por el más blando. Cuando se llega al que le raya, si es, por ejemplo, el cristal de roca, se dirá que la dureza del ejemplar está comprendida entre 6 y 7, y para indicar que es intermedia entre estos dos números, se pone la cifra primera seguida de cinco décimas. Así, la dureza de un ejemplar que rayase a la ortosa y no al cristal de roca, se escribiría 6,5 (1).

Conviene notar que una misma especie mineral ofrece diversa dureza según se halle cristalizada, concrecionada o amorfa, siendo mucho menor en estos últimos casos. Una de las condiciones principales para que una substancia pétreo pueda ser considerada

(1) Como es frecuente ensayar si el ejemplar raya o no al vidrio, conviene saber que la dureza de éste es próximamente 5.

como piedra fina, es que su dureza pase de 7. En los cristalizados difiere algún tanto también con la naturaleza de sus caras, y en una misma, según la dirección en que se ensaye el ejemplar (1).

Elasticidad.—Unos cuerpos ceden cuando fuerzas exteriores obran para deformarlos, al paso que otros resisten a ellas con mayor o menor energía. Estas propiedades se utilizan, a veces con provecho, como caracteres para la distinción de los minerales. Así, los hay que se califican de *elásticos*, como uno hojoso llamado mica, los cuales recobran su forma y posición propias tan pronto como deja de actuar sobre ellos la expresada fuerza; otros, en cambio, son *flexibles*, como el talco, el amianto y muchos metales, los cuales, una vez deformados, no vuelven a su estado anterior, aunque cesen las causas de la variación. Son *tenaces* los que no se deforman o lo hacen muy débilmente, aunque se les golpee con un martillo sobre un plano resistente; pero una vez deformados, ya no recobran su disposición anterior, como le sucede al hierro y a ciertos minerales no metálicos formados de fibras finas y entrecruzadas, en oposición a otros que son *frágiles*, y de ello son ejemplo la mayoría de los cristales, y se dicen *agrios*, cuando se reducen a polvo al golpearlos con un martillo o al rascarlos con un cortaplumas.

La tenacidad es independiente de la dureza, y buen ejemplo de ello es el diamante, el cuerpo natural más duro, como queda dicho, y frágil, sin embargo. Cuando, por el contrario, un mineral es a la vez duro y tenaz, da chispas con el eslabón.

Los minerales flexibles suelen dejarse extender con facilidad en láminas por medio del martillo, y se dicen entonces *maleables*, y *dúctiles*, si pueden estirarse en hilos; estos últimos se cortan en virutas con la navaja sin producir polvo ni astillas, como la plata, el oro, la argentita, etc., por lo cual se les denomina también *sectiles*.

Densidad.—Todo el mundo sabe que los cuerpos en un mismo volumen tienen peso diferente, y que el oro pesa más que la plata, y ésta más que la caliza, por lo cual se conoce al peso una moneda de oro falsificada con otro metal más ligero. Los físicos han definido esta *densidad relativa* diciendo que es la relación en que se hallan las cantidades de materia contenidas en volúmenes iguales de dos cuerpos, uno de los cuales se toma como unidad de medida. El mismo número expresa ésta y el peso específico de uno de los cuerpos con relación al otro, que es el peso de un volumen de agua

(1) La Física y la Mineralogía poseen instrumentos más perfectos para determinar la dureza, y en particular, el aparato llamado *esclerómetro*, en el cual se evalúa esta propiedad por los pesos necesarios para que un estilete movido mecánicamente consiga rayar al ejemplar. No entramos en la descripción de este aparato, propio de laboratorio, y que sólo tiene aplicación para investigaciones precisas; pero hacemos la indicación para que se sepa que existen medios de apreciar esta propiedad muy superiores a la aproximación de que es capaz la escala de Mohs, la cual tiene, además, el defecto de falta de proporcionalidad en sus diferentes términos, a pesar de lo cual sigue sirviendo de norma en Mineralogía y es utilísima en la práctica corriente.

destilada igual al de dicho cuerpo y a la temperatura de $+4^{\circ}$ C. En las descripciones de los minerales y rocas se suelen usar indistintamente los términos densidad y peso específico, por más que realmente se haga siempre referencia a este último.

El peso específico constituye un carácter muy importante para la distinción de los minerales, pues cada especie tiene el suyo propio y le presenta de un modo constante (1). Los tratados de Física dan diversos medios para determinar el peso específico, pero nosotros nos limitaremos a indicar tres solamente, cada uno de los cuales tiene aplicación en ciertos casos.

Como procedimiento expedito, cuando no se trata de obtener con gran exactitud sino con brevedad el peso específico de un ejemplar, se puede emplear la *balanza de espiral de Jolly* (fig. 72). Se empieza por averiguar con ella el peso del cuerpo en el aire por las diferencias de las posiciones del índice f con respecto a la escala dividida en milímetros, grabada sobre una regla de espejo que va pegada a la madera, leyendo la graduación antes y después de colocar el trocito de mineral sobre el platillo C . En ambas observaciones, el agua del vaso ha de alcanzar la misma altura del alambre de platino que sostiene el platillo inferior A . Ahora, la pérdida de peso del ejemplar en el agua, o en otros términos, el peso de un volumen de agua igual al del mineral estará dado por la diferencia entre la posición del índice f cuando aquél se hallaba

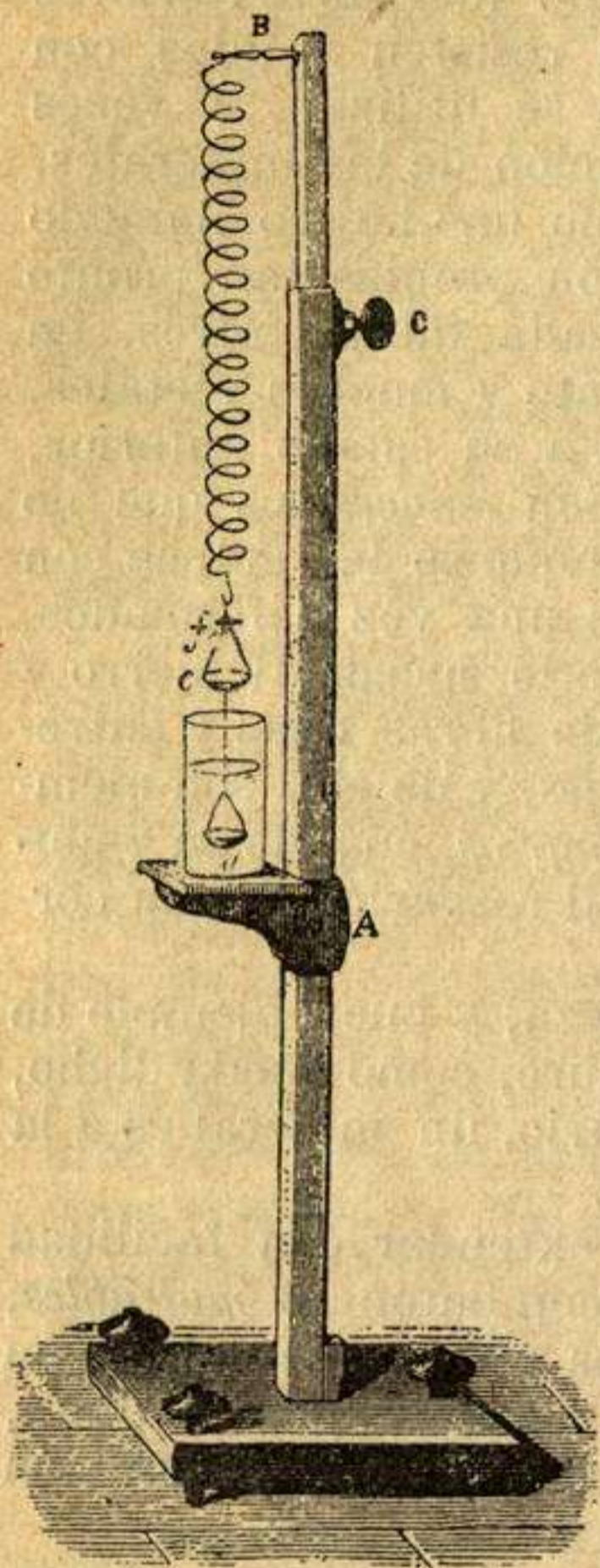


Fig. 72.—Balanza de Jolly.

en el platillo C y la que ocupa el mismo índice, poniendo el ejemplar en el platillo inferior A sumergido en el líquido. El cociente que resulta de dividir el peso del cuerpo en el aire por el de su

(1) Para que el principiante se forme una idea del valor de estas cifras que expresan la densidad y que luego acompañarán a las descripciones de los minerales, presentamos a continuación algunas de especies importantes como términos de comparación:

0,6 a	1,0	Petróleo, agua.
2,0 a	2,8	Yeso, azufre, cuarzo, feldespato, serpentina.
4,0 a	4,5	Baritina, calcopirita, blenda.
6,5 a	8,0	Casiterita, galena, argentita, hierro.
10,0 a	14,0	Plata, plomo, mercurio.
15,0 a	23,0	Oro, platino, iridio.

De modo que un centímetro cúbico de petróleo pesa, próximamente, la mitad que otro de agua y uno de iridio pesará 23 veces tanto como este último.

peso en el agua dará la densidad en virtud del conocido principio de Arquímedes que se enseña en Física.

El instrumento de más fácil manejo para hallar rápidamente la densidad de un ejemplar es la balanza de Walker (fig. 73). Consiste en una barra de acero *A*, que descansa cerca de un extremo en un soporte *B* sobre un filo delgado. Quedan, pues, a uno y otro lado del punto de suspensión un brazo corto, sobre el cual puede correr la pesa *C*, y uno largo, dividido, que pasa a través de una hendidura que hay en el soporte *D*. Se cuelga en este brazo largo el ejemplar, corriéndole hasta que contrabalancee la pesa *C*, y se repite la operación sumergiendo el cuerpo en agua destilada. Se mide la distancia entre el soporte *B* y el segundo punto de suspensión del cuerpo y la que

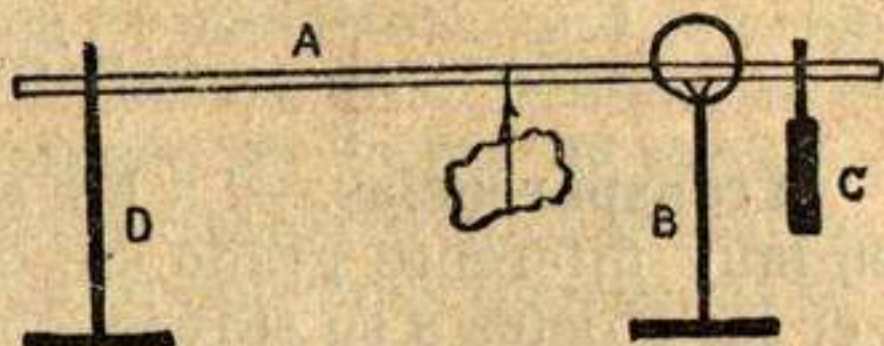


Fig. 73.—Balanza de Walker.

media entre ambos puntos de suspensión; el cociente de dividir la primera por la segunda es el peso específico buscado.

Para hallar el peso específico con exactitud, no hay procedimiento más perfecto que el llamado del *frasco de volumen constante o de Klaproth*. Exige servirse de una balanza de precisión, en la cual se pesa primero el trozo del mineral que se trata de estudiar; luego el mismo al aire, más un pequeño frasco (picnómetro) lleno de agua destilada y cerrado con un tapón de cristal que termina en un tubo capilar, y, por fin, el ejemplar dentro del frasco con agua. La diferencia entre la última pesada y la suma de las dos anteriores es la de un volumen de agua igual al del ejemplar (la cual ha tenido que derramarse al introducir éste en el frasco), y dividiendo la cifra correspondiente al peso del cuerpo en el aire por la del mismo sumergido, se obtiene el peso específico buscado.

Modernamente se ha descubierto otro método que tiene aplicación particular para la determinación del peso específico de los pequeños cristales, separados generalmente mediante la trituración de las rocas, que es llamado de los *líquidos pesados*. Se conocen varios de estos últimos, entre ellos la disolución del yoduro mercuríco potásico, a la que se da fácilmente una densidad superior a 3 (1); todos los minerales que tienen una densidad mayor (el granate, el zircón, el topacio, por ejemplo) caen al fondo del líquido, y los que la poseen menor permanecen en la superficie. Añadiendo éter poco a poco se va rebajando la densidad del líquido, y pueden irse aislando sucesivamente los minerales que flotaban reunidos. Así se precipitaría antes el oligisto que el anfíbol, después de éste el feldespato y luego el cuarzo, que pudieran hallarse mezclados en el

(1) Con la mezcla de yoduro de metileno y de tungstoborato de cadmio se consigue una densidad de 3,35, y modernamente se ha propuesto la de nitrato de plata y de talio, que llega a 4,5 y a 5,5.

polvo de una roca, proporcionando esto un medio precioso para separarlos entre sí y de las gangas.

Una vez que se ha añadido al líquido pesado la cantidad de éter necesaria para que un mineral se encuentre en equilibrio en él, la densidad de este último será igual a la del primero, la cual se averigua cómodamente sirviéndose de la balanza de Westphal, especie de romana provista en su brazo graduado de un flotador para sumergirlo en la probeta que contiene el líquido.

CARÁCTERES ÓPTICOS

Transparencias.—La luz atraviesa a muchos minerales, si bien en muy diferente grado. Se dicen *transparentes* cuando se pueden ver los objetos a su través, como sucede con el cristal de roca; en otros pasa una parte notable de la luz que los hiere, pero sin que se perciban claramente a su través los contornos de los objetos, sino de un modo borroso y como esfumados, llamándose a éstos *translucientes*, los cuales pueden serlo en toda su masa, como el alabastro, o tan sólo en sus bordes delgados, como el pedernal y el mármol estatuario; hay, por último, un tercer grupo de minerales *opacos*, esto es, que interceptan por completo la luz, por más que en realidad son pocos los que reducidos a láminas suficientemente delgadas no pierdan su opacidad. Muchas veces, la misma substancia, según su grado de pureza, puede presentar todos los estados que acabamos de enunciar; si se halla pura es, por lo general, transparente, a menos que una gran cantidad de luz se refleje en su superficie, como acontece en el mercurio y en la mayor parte de los minerales metálicos.

Un caso especial ofrece el ópalo llamado *hidrófano*, el cual, de opaco, se vuelve transluciente en alto grado cuando ha estado sumergido en el agua un gran rato.

Lustre.—Es debida esta propiedad a la luz reflejada en la superficie de los cuerpos, y depende, por consiguiente, del estado de esta superficie. Según la cantidad de luz reflejada, se dice que el lustre es intenso (que es lo que se llama propiamente *brillo*), mediano o débil. Se califican de *brillantes* o *lustrosos* los minerales que reflejan mucha luz, en oposición a los *mates*. Las caras de los cristales pertenecen casi siempre a los primeros, en lo cual se fundan los goniómetros de reflexión, como ya dijimos. Si estas caras ofrecen estrías o desigualdades, las imágenes aparecen deformadas.

Existen muchas clases de brillo que reciben nombres particulares, y como este carácter tiene suma importancia en Mineralogía, indicaremos los principales: *metálico*, debido a la reflexión total de la luz, y característico de los metales y de muchos de sus compuestos (galena); *metaloides*, muy frecuente en los minerales pétreos y en los carburados (como el grafito, etc.); *vítreo*, propio de las substancias de débil poder refringente, y llamado así por presentarlo el

vidrio ordinario; *adamantino*, intermedio entre los precedentes y debido a la refringencia considerable de las substancias (diamante, cerusita); *craso o céreo*, cuando la superficie del mineral parece cubierta de aceite (calcedonia); *resinoso* (succino); *perlado* (talco), y *sedoso*, que resulta de una textura compuesta de fibras rectas, iguales y apretadas (yeso fibroso).

Imágenes luminosas. —La reflexión de la luz, no en la superficie del mineral, sino en la de las inclusiones y cavidades microscópicas que puede llevar o en los elementos de estructura que le constituyen, da origen a fenómenos característicos. Uno de ellos es el *asterismo*, propiedad de producir una imagen en forma de estrella, que se percibe a través de algunos cristales transparentes de zafiro, apatito, granate, etc., cuando aprisionan inclusiones dispuestas ordenadamente en direcciones determinadas. En el zafiro puede verse también por reflexión la misma estrella en una superficie muy convexa, sobre todo tallándole normalmente al eje senario. Otro fenómeno, debido a la misma causa, es la banda luminosa que ostentan por reflexión los yesos fibrosos y las piedras finas llamadas ojo de tigre y ojo de gato, estimadas por esta vistosa propiedad, por lo que se tallan para el comercio en la forma dicha para el zafiro, pero normalmente a sus fibras.

Refracción sencilla y doble. —La luz, que, como es sabido, consiste en un movimiento vibratorio del éter, experimenta al atravesar los medios transparentes cambios de velocidad y también de dirección, si cae oblicuamente sobre la superficie de los cuerpos transparentes. La velocidad disminuye en razón inversa de la densidad del medio, es decir, que el rayo se propaga con tanta menor velocidad cuanto más denso es el medio que atraviesa. La dirección cambia cuando un rayo luminoso pasa oblicuamente de un medio a otro de diferente densidad, a lo que se llama *refracción*. Está sujeta esta última a dos leyes formuladas por Descartes, diciendo: 1.^a, el rayo incidente y el refractado están situados en un mismo plano normal a la superficie de incidencia, y 2.^a, la relación que existe entre el seno del ángulo de incidencia y el de refracción es constante para los mismos medios. Esta relación se llama *índice de refracción*, y se expresa $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = n$ (1). Cuanto más intensa es la refracción, más

bellas son las piedras preciosas: así, el diamante es, entre todas, la que tiene el índice más elevado, y por ello su brillo más vivo; y como, por razón de la gran dureza de esta piedra, sus caras no se rayan ni despulen, conserva indefinidamente su hermoso aspecto.

El rayo de luz que atraviesa un medio transparente, pero no cristalizado, como en las substancias vítreas o un cristal del sistema regular, no experimenta más que esta desviación, que es la *re-*

(1) En los tratados de Física, y especialmente en los dedicados a las manipulaciones de esta ciencia, se consignan los procedimientos que pueden seguirse para obtener el índice de refracción de los cuerpos. en cuyo asunto no podemos entrar aquí.

fracción sencilla, única que hasta ahora hemos considerado; pero si el cristal o la substancia cristalizada atravesada por la luz corresponde a cualquiera de los cinco sistemas restantes, en casi todas las direcciones que lleva, además de variar su dirección, se divide en el interior del mismo en dos rayos refractados que emergen de él, propiedad que se conoce con el nombre de *doble refracción*, y que permite ver dos imágenes de cada objeto.

A los primeros cuerpos pertenecen las substancias amorfas y las cristalizadas en el sistema regular, y se los denomina *isótropos* o *monorrefringentes*, al paso que los otros corresponden los cristales de los restantes cinco sistemas, y se los da el nombre de *anisótropos* o *birrefringentes*.

La doble refracción fué observada por primera vez en el siglo XVII por Bartholin en el espato de Islandia (variedad transparente de la calcita o carbonato cálcico romboédrico, que existe en aquella isla). Basta mirar a través de dicho espato un punto marcado con lápiz o un agujero abierto en una tarjeta para recibir dos imágenes de ellos, una más clara que otra. Haciendo girar el espato alrededor de una línea normal a las caras a través de las cuales se observa, se ve girar a las dos imágenes alrededor del eje de rotación, pero con la circunstancia de que una de ellas, la más borrosa, camina con mayor velocidad que la otra, describiendo un círculo externo al que describe aquélla.

Para dar explicación de este fenómeno, vamos a suponer una sección vertical de un romboedro de espato de Islandia (fig. 74), en el que se han tallado artificialmente dos caras paralelas entre sí $a'a'$

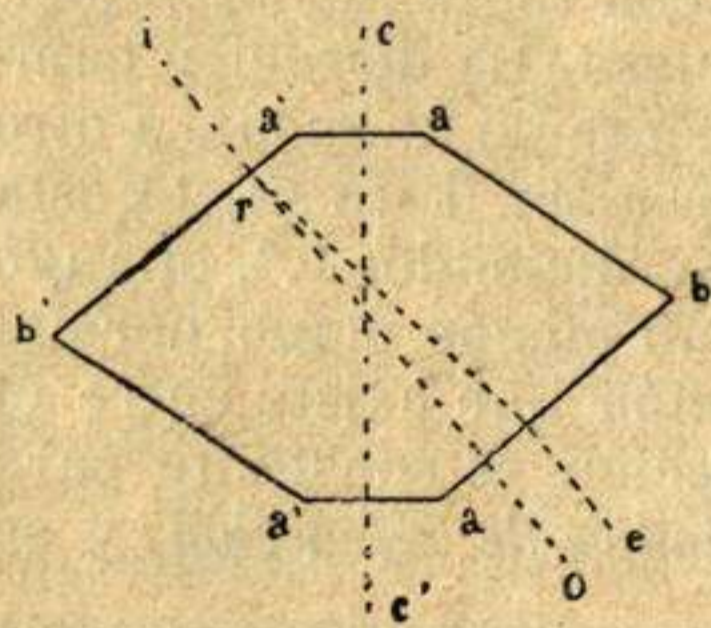


Fig. 74.

a y normales al eje de simetría ternaria o principal del cristal, representado por la línea $c c'$. Todo rayo luminoso que caiga sobre el cristal perpendicularmente a la cara $a' a$, le atravesará en la dirección $c c'$ sin sufrir más que el consiguiente cambio de velocidad; por tanto, esta dirección será la de refracción sencilla del cristal, o sea un *eje óptico*. Para comprobar que el rayo luminoso que marcha, según él, en el seno del espato no ha experimentado la refracción doble, basta observar por reflexión a través de la cara $a' a$ y su paralela un punto o una raya trazados sobre una tarjeta, mirando en este caso a la luz; con efecto, no se verá de ellos más que una imagen, aunque se haga girar una vuelta entera el romboedro alrededor del eje $c c'$. Pero examinemos ahora lo que pasa si el rayo incidente no es perpendicular a la cara, como en el caso anterior, sino que forma un ángulo cualquiera con la dirección $c c'$; entonces no sólo se refracta o separa de la dirección que traía, sino que se divide en dos, que se propagan a través del cristal. La separación de ambos rayos y, por tanto, de las imágenes a que den nacimiento, irá en au-

servar por reflexión a través de la cara $a' a$ y su paralela un punto o una raya trazados sobre una tarjeta, mirando en este caso a la luz; con efecto, no se verá de ellos más que una imagen, aunque se haga girar una vuelta entera el romboedro alrededor del eje $c c'$. Pero examinemos ahora lo que pasa si el rayo incidente no es perpendicular a la cara, como en el caso anterior, sino que forma un ángulo cualquiera con la dirección $c c'$; entonces no sólo se refracta o separa de la dirección que traía, sino que se divide en dos, que se propagan a través del cristal. La separación de ambos rayos y, por tanto, de las imágenes a que den nacimiento, irá en au-

mento a compás del de la inclinación del rayo incidente con respecto al eje $c c'$. Así, en la figura que precede, el rayo incidente i , por no ser perpendicular a la cara $a' a$, se divide en dos en el espato: uno ordinario, $r o$, y otro extraordinario, $r e$.

En la experiencia que antes indicábamos, mirando un punto al través del espato y haciendo girar éste alrededor de una línea normal a las caras a cuyo través se observa, nótase que una imagen recorre camino más largo y se mueve con mayor velocidad, y es la formada por el rayo extraordinario, y lo que anda menos y aparece más clara corresponde al rayo ordinario. Si lo observado a través del espato en vez de un punto es una línea o hendidura larga, y se gira el cristal como en el experimento anterior, las dos imágenes producidas llegan a superponerse cuando la longitud de la línea coincide con la diagonal corta de las caras a cuyo través se observa; diagonal que es la proyección sobre dichas caras del eje óptico, que es, repetimos, el eje de simetría superior en el romboedro de espato de Islandia.

Cristales uniáxicos.—En los cristales de los sistemas exagonal y tetragonal, cuando el rayo de luz los atraviesa en el sentido de la dirección del eje principal, no se divide en dos rayos, sufriendo tan sólo el mismo cambio de velocidad que si atravesara un cristal regular o una substancia amorfa. Esto depende de que las moléculas de dichos cristales, y, por consiguiente, el éter que los penetra, están distribuidos con una simetría perfecta alrededor de la línea del eje principal, dirección única de refracción sencilla que poseen, por la cual se dicen *uniáxicos*. La dirección en que presentan la refracción sencilla lleva el nombre de *eje óptico* o de *doble refracción* (el último con notoria impropiedad). En cualquier otra dirección en que los atraviere el rayo incidente, se divide en dos: el ordinario, que sigue las leyes antes enunciadas para la refracción sencilla, y el extraordinario, que se llama así por no obedecerlas.

Cristales biáxicos.—Los cristales de los sistemas rómbico, monosimétrico y asimétrico poseen dos direcciones de refracción sencilla, o sean dos *ejes ópticos*, y se dicen por esto *biáxicos*. Todo rayo de luz que atraviere estos cristales en otra dirección que no sea la de los ejes ópticos experimentará la refracción doble. Forman estos ejes ángulos constantes en cada especie mineral, por lo cual se miden con auxilio de aparatos especiales. Como desde luego se comprende, estos cuatro ángulos formados por la intersección de los ejes ópticos en el centro del cristal, tendrán dos bisectrices: una, la de los ángulos agudos, y otra, la de los obtusos (en el caso de que no formen ángulos rectos), normales entre sí, indicándose simplemente con el nombre de *bisectriz* la del ángulo agudo. Se llama *plano de los ejes ópticos* al que contiene a dichos ejes, y, por tanto, a sus bisectrices.

En resumen: los cristales, en razón de sus propiedades ópticas, se dividen del modo siguiente:

ISÓTROPOS O MONORREFRINGENTES: cristales del sistema regular (sal común, fluorita, granate, espinela, etc.). Cualquiera que sea la dirección en que el rayo luminoso se propague en el interior de estos cristales, no sufre más que la refracción sencilla.

ANISÓTROPOS O BIRREFRINGENTES: cristales que pertenecen a los otros sistemas, los cuales pueden ser:

Uniaxiales: cristales de los sistemas exagonal y tetragonal. Poseen un solo eje óptico, que coincide con el de máxima simetría del cristal (calcita, cuarzo, turmalina, apatito, etc.).

Biaxiales: cristales rómbicos, monosimétricos y asimétricos, todos los cuales tienen dos ejes ópticos que no coinciden nunca con los de simetría (aragonito, yeso, topacio, feldespatos, etc.).

Aparatos de polarización.—La luz natural resulta de una serie innumerable de vibraciones etéreas en un plano normal a la dirección del rayo luminoso y que están variando continuamente de amplitud y de azimut; pero al atravesar un cristal birrefringente, la luz vibra en sólo dos planos, que forman ángulo recto, y entonces se dice que está *polarizada*. Por virtud de esta modificación, pierde la propiedad de reflejarse o refractarse en determinadas condiciones. Fundados en esta propiedad de los cristales birrefringentes se han construido, sirviéndose de la turmalina y el espato de Islandia, aparatos llamados de polarización, con los cuales se puede distinguir prácticamente uno de otros los tres grupos en que hemos dividido ahora los cristales, como explicaremos a continuación.

El más sencillo de dichos aparatos es el conocido con el nombre de *pinzas de turmalina*, porque consiste en dos láminas de este mineral, que es exagonal, cortadas paralelamente al eje óptico y adelgazadas hasta ser transparentes, las cuales se sujetan en los extremos dispuestos en anillo de un alambre retorcido en forma de muelle (figura 75, A, B). El rayo de luz que atraviesa una de las turmalinas, como lo verifica normalmente a su eje óptico, se refracta dividiéndose en

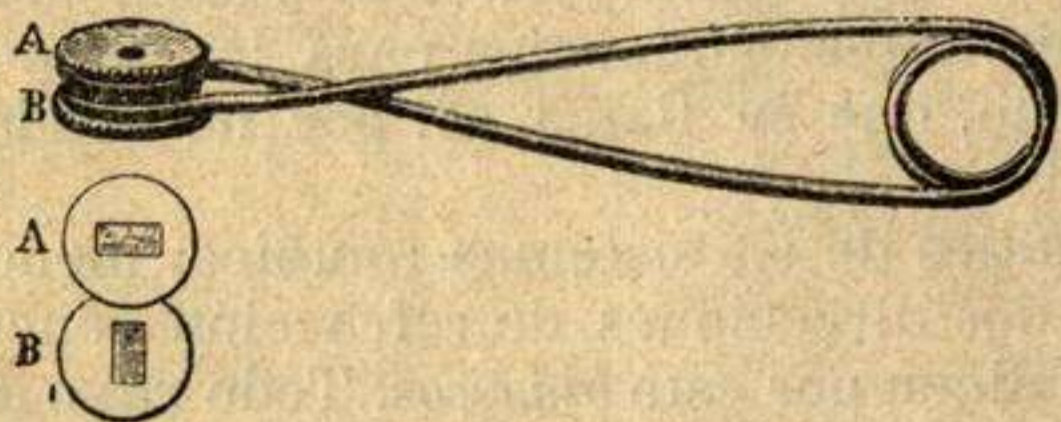


Fig. 75.—Pinzas de turmalina.

dos: uno ordinario, que es absorbido por la turmalina, y otro extraordinario, que sigue su camino hasta salir al exterior. Si este último encuentra la segunda turmalina colocada de modo que su eje óptico sea paralelo al de la primera, pasa por ella, y mirando el observador al cielo a través de las dos turmalinas, percibe perfectamente la claridad con el color verde o pardo que tengan éstas. Pero si en vez de estar paralelas las láminas, se cruzan, haciendo girar una de ellas en el anillo que la sujeta, el rayo que atraviesa la una es totalmente absorbido por la otra y ya no se percibe luz, sino la obscuridad casi completa al mirar a través de ellas.

Estando las turmalinas en esta última disposición, si colocamos entre ellas una sección transparente de una substancia vítrea o de un mineral perteneciente al sistema regular, continúa el campo con la misma obscuridad; pero si la sección que interponemos pertenece a un cristal anisótropo, el espacio se ilumina inmediatamente y se percibe la claridad. Con esto tenemos el medio de distinguir las substancias monorrefringentes de las birrefringentes; y podremos, por ejemplo, reconocer si unos anteojos o gafas son de vidrio (substancia amorfa y, por tanto, monorrefringente) o de cristal de roca (que como mineral exagonal es birrefringente).

También se pueden diferenciar con las pinzas de turmalina los cristales uniáxicos de los biáxicos, pero es necesario para ello que los primeros estén cortados normalmente al eje óptico en una lámina de espesor variable con el índice de refracción de cada mineral, y los segundos, normalmente a la bisectriz del ángulo agudo de los ejes ópticos (1). Colocada entre las turmalinas cruzadas la sección uniáxica tallada, como queda dicho, y mirando a la luz a través del conjunto, se observa un sistema de anillos concéntricos coloreados, atravesado por una cruz negra (fig. 76), apariencia que no varía aunque se haga girar la sección entre las turmalinas inmóviles. Pero si la sección examinada pertenece a un cristal biáxico y el plano de sus ejes ópticos coincide con el eje de alguna de las turmalinas, lo que se observa es una serie de elipses concéntricas de colores, rodeando a unas curvas de dos centros que tienen la forma de un 8, también de colores, en cada uno de cuyos dos ojos se ven dos pequeños círculos que corresponden a los ejes ópticos; esta serie de curvas aparece, además, atravesada, en dirección del plano de estos últimos, por una ancha faja negra, cruzada perpendicularmente en su parte media por una línea asimismo negra (fig. 77). Haciendo girar la sección del cristal entre las turmalinas cruzadas, y sin mover éstas, se observa un fenómeno muy característico: la cruz negra se va dislocando en dos ramas de hipérbola, que llegan a ser perfectas cuando el plano de los ejes ópticos está a 45° de los ejes ópticos de las turmalinas (fig. 78). Los vértices de las hipérbolas coinciden con los ejes ópticos del cristal (2).

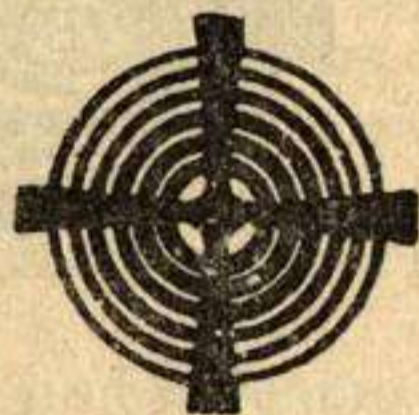


Fig. 76.

(1) Estas secciones se preparan desgastando el cristal, en el sentido en que se quiera hacer la sección, por medio de su frotamiento sobre una plancha de cine cubierta de esmeril grueso mojado con agua. Cuando se ha practicado así una cara plana, se la pule primero sobre un vidrio cubierto de esmeril fino, también mojado, y, por último, sobre terciopelo, con trípoli o una gamuza, papel, etc., según la dureza del cristal. Hecha y pulida la primera cara, se hace la segunda por el mismo método y paralela a la anterior. Conseguida la sección del espesor conveniente, que es variable para cada mineral, según su grado de transparencia, se pega con bálsamo del Canadá entre dos cristales.

(2) La completa explicación de estos fenómenos no puede intentarse sin invadir el campo de la Óptica. Como recuerdo, nos limitaremos a decir que el rayo que se transmite paralelamente al eje del cristal uniáxico es, como se ha dicho, el único que escapa a la refracción doble, al paso

Otro aparato de polarización más perfecto, y que no tiene como las turmalinas el inconveniente de quitar claridad, por el mucho color de estas últimas, es el prisma de Nicol. En realidad, está formado por dos prismas llamados *nicoles*, que son dos romboedros de espato de Islandia cortados diagonalmente bajo un cierto ángulo, y las dos mitades de cada uno pegadas con una trementina llamada *bálsamo del Canadá*, después de haber pulido las superficies de sección. Como ya sabemos, el rayo de luz que penetra en un nicol se divide en uno ordinario y otro extraordinario, polarizados; pero, por la disposición de éste, el primero es reflejado por la capa de bálsamo hacia los lados del prisma, que están pintados de negro, y así, no sale del nicol más que el extraordinario; éste atravesará el segundo nicol, si se halla colocado paralelamente al primero, y será



Fig. 77.



Fig. 78.

totalmente absorbido por él si está cruzado. El aparato se halla dispuesto de modo que uno de los nicoles puede girar a voluntad del observador.

Desde luego se comprende que con este aparato se observarán los mismos fenómenos en las secciones de los cristales que con las pinzas de turmalina. Usase adaptando los nicoles a un microscopio, colocando el primero debajo de la platina y encima del objetivo o del ocular el segundo; el microscopio así dispuesto recibe el nombre de *polarizante*, y si lleva, además, otras disposiciones accesorias que facilitan el estudio de los pequeños cristales, así como de las secciones delgadas de los mayores y de los constitutivos de las rocas, se dice *mineralógico* o *petrográfico*. Lo esencial, aparte de la existencia en ellos de los nicoles, es que la platina pueda girar en su propio plano.

Policroísmo.—Algunos minerales transparentes tienen la propiedad de comunicar a la luz natural que los atraviesa tintas diferentes según direcciones diversas. Este fenómeno, llamado *policroísmo* o *pleocroísmo*, depende de que, por virtud de la agrupación cristalina de sus moléculas, en unas direcciones absorben

que todos los demás se dividen en uno ordinario y otro extraordinario. Cada una de estas dos clases de rayos se mueve con distinta velocidad, y de aquí las interferencias que se producen entre ellos y que originan los círculos oscuros. También por interferencia, según las direcciones de vibración de las turmalinas, se producen los brazos de la cruz. En fin, los anillos coloreados dependen de las diferentes longitudes de las ondas luminosas.

colores distintos que en otras, y claro está que esto no podrá ocurrir en los cristales isótropos, en los cuales la absorción es igual en todos sentidos. Hay micas que ofrecen en una dirección color amarillo claro y en otras color pardo, esmeraldas que aparecen verde claras y verde azuladas, según se las mire; pero la especie más notable en este respecto es un silicato llamado cordierita o dicroita, la cual es de un bello azul intenso en una dirección, y gris amarillento en otras.

Color.—Todo el mundo sabe lo que se entiende por color, y, sin embargo, es difícil de definir este fenómeno complejo de un modo científico, por depender de la reflexión, refracción y absorción de la luz por los cuerpos, y de fenómenos de interferencia.

Muchos minerales transparentes absorben determinados colores de los que por su asociación constituyen la luz blanca natural, dejando pasar el resto coloreado que impresionan la retina; pueden absorberlos todos, en cuyo caso aparecen negros, o no absorber ninguno, y son entonces blancos. Este es el origen de los llamados colores por *refracción* o *transparencia*, los cuales algunas veces difieren del que ofrecen los mismos minerales vistos *por reflexión*, como sucede al oro, que siendo verde por transparencia en los panes muy delgados, ofrece su color amarillo característico por reflexión.

El precioso metal que acaba de servirnos de ejemplo, como el cobre, la plata, el estaño y otros muchos minerales, se presentan siempre con el mismo color, que se califica por esto de *propio*, en oposición a lo que sucede al cuarzo, al corindon y a la fluorita, por ejemplo, que tan pronto son incoloros o amarillos en unos ejemplares, como verdosos, azulados, rosados, etc., en otros, y se dice por esto que poseen *colores accidentales*. Estos últimos son debidos casi siempre a sustancias interpuestas, y se distinguen del propio en que, reducido a polvo el mineral que los ofrece, se vuelve blanco, cualquiera que fuera su coloración en masa.

El color que presentan los minerales al rayarlos o el trazo que dejan frotándolos sobre porcelana sin barnizar (bizcocho de porcelana) proporcionan medios de apreciar el verdadero color de aquellos que se empañan en la superficie o que están teñidos por sustancias interpuestas. Así se consigna frecuentemente en las descripciones de los minerales el color de la raya, y si éste es o no más claro que el de la superficie. La hematites roja se distingue por este medio de la parda, entre otros ejemplos que podrían citarse de especies menos conocidas.

Para designar los colores se usan las denominaciones vulgares, y así se dice color *metálico* y *no metálico*, y dentro del primero, el blanco de plata, el gris de plomo, el amarillo de latón, etc., como en el segundo, el verde, el gris, el negro, expresando con algún calificativo el matiz de los mismos.

Fosforescencia.—Algunos minerales sometidos a ciertas acciones se vuelven luminosos, como puede apreciarse llevándolos a un

sitio obscuro, propiedad que se llama *fosforescencia*. A ella deben su nombre la fosforita, variedad compacta de apatito, y el fósforo de Bolonia, que lo es de la fluorita, porque calentados producen una luminosidad verdosa el primero y azul el segundo; en otros, como la blenda y el cuarzo, se origina el fenómeno cuando se los raspa o rompe; el rubí y el zafiro, si se los hace sufrir una corriente eléctrica de gran tensión, y el diamante da una claridad azulada con sólo exponerle previamente a los rayos directos del Sol.

CARACTERES TÉRMICOS

Los caracteres térmicos que tienen alguna aplicación a la Mineralogía se refieren a la propagación del calor y al cambio de estado que pueden experimentar las substancias por la acción del mismo.

Conductividad térmica y dilatabilidad.—Los minerales, como los demás cuerpos, son unos *buenos* y otros *malos conductores* del calor, y, en general, los metales pesados y sus combinaciones le conducen mejor que las materias pétreas. En el seno de las substancias amorfas, la propagación se verifica circular y homogéneamente, pero en los cristales varía con la dirección. Para demostrarlo se han tallado láminas delgadas de ellos cubriéndolas con una tenue capa de cera, y aproximando un alambre caliente, se ha visto que la fusión de la cera se verificaba circularmente en las secciones del sistema regular, y en las paralelas a las bases de los uniáxicos y en elipses en las caras de los prismas de estos segundos y en las secciones de los biáxicos. El calor se conduce, pues, lo mismo que la luz en el seno de los cristales.

Como es natural, los minerales buenos conductores aumentan más rápidamente de volumen por la acción del calor que los que le conducen mal. Los cristales siguen en punto a su dilatabilidad las mismas leyes que en cuanto a su conductividad térmica y óptica, siendo más fácil en unas direcciones que en otras: de aquí resultan variaciones que pueden provocarse por el calor en el ángulo de los ejes, las cuales son momentáneas o permanentes.

Permeabilidad para el calor.—Las radiaciones caloríficas, como las luminosas, pueden reflejarse o ser absorbidas al caer sobre los cuerpos. Algunos, como la sal gema y la fluorita, dan paso a los rayos caloríficos y se llaman *diatermanos*, en oposición a otros, como el alumbre, la turmalina, el yeso y el ámbar, que son muy poco o nada transparentes para el calor, y se califican de *atermanos*.

Fusibilidad.—Si la intensidad del foco calorífico es suficiente para vencer la fuerza de cohesión que mantiene unidas las moléculas de los minerales, éstos pasan al estado líquido, o, lo que es lo mismo, se funden.

El grado de fusibilidad es sumamente vario en los minerales, y para apreciarle de un modo relativo, ha establecido Kobell una

escala análoga a la de dureza de Mohs (1). Al tratar de los ensayos por vía seca insistiremos sobre esta cuestión, limitándonos por ahora a decir que para ensayar la fusibilidad de un mineral deben emplearse pequeñas esquirlas, que conviene sean angulosas, sostenidas con unas pinzas de presión constante y de punta de platino, y que en casi todos los casos es necesario servirse de la llama del soplete para ver si se funden dando esferas, redondeándose sólo los bordes y puntas más delgadas, o si, en fin, resisten a la acción de este foco de calor.

CARACTERES ELECTRO-MAGNÉTICOS

Electricidad.—Desde muy antiguo se conoce el hecho de que el ámbar y el azufre, frotados contra una piel o una tela de seda, adquieren la propiedad de atraer los cuerpos ligeros, como fragmentos de papel o de médula de saúco. En realidad, este fenómeno, de naturaleza eléctrica, se produce en todos los cuerpos, si bien en unos hay necesidad de aislarlos para que se haga sensible; de aquí la división de ellos en *buenos y malos conductores*. De los primeros son tipo los metales, y de los segundos, el ámbar y el azufre citados, el cuarzo y algunos minerales más. El cristal de roca y cuerpos análogos se electrizan positivamente o con electricidad vítrea, al paso que el ámbar y el azufre lo hacen con la resinosa o negativa. El espato calizo se electriza positivamente con sólo comprimirle entre los dedos, y con el auxilio de presiones algo mayores desarrollan electricidad el cuarzo y la turmalina (*piezo-electricidad*).

En estos y otros minerales cristalizados, como la fluorita, el yeso, la calamina, el topacio, etc., se desarrolla la electricidad cuando se eleva su temperatura artificialmente (*piro-electricidad*).

Los cristales hemimorfos (página 73), como suelen serlo los de la turmalina y la calamina, no sólo se electrizan por el calor, sino que, además, adquieren la notable propiedad de desarrollarse en uno de sus extremos la electricidad positiva y la negativa en el opuesto, en virtud del principio de que los elementos cristalográficos análogos se cargan de electricidad del mismo signo.

Para conocer el género de electricidad que adquiere por frotamiento un mineral, se usa una aguja de cobre que puede oscilar libremente, la cual se carga de electricidad conocida y se observa si el mineral la atrae o la repele.

Wiedeman ha probado que la conductividad eléctrica se realiza en los cristales según las mismas leyes que la óptica y la térmica.

(1) Como la escala de fusibilidad no tiene, ni con mucho, la precisión ni la importancia que la de dureza, nos limitamos, como recuerdo, a decir que consta aquélla de siete tipos, desde el primero, que funde fácilmente con la llama de una bujía, hasta el último, que es infusible a la llama del soplete ordinario. Los tipos son los siguientes:

- | | | |
|----------------|--------------|--------------|
| 1. Antimonita. | 4. Actinota. | 6. Broncita. |
| 2. Natrolita. | 5. Ortosa. | 7. Cuarzo. |
| 3. Almandina. | | |

Recubrió para ello de polvo de licopodio láminas cristalinas, y aproximando una varilla metálica electrizada a su superficie, pudo comprobar que el citado polvo era entonces rechazado en todas direcciones, dejando sólo una porción limpia de contorno circular o elíptico, según la conductividad de dicha superficie.

Magnetismo.—Unos cuantos minerales gozan de la propiedad de poner en movimiento la aguja imantada cuando se les acerca a ella, y por ser poco numerosos, constituye esto un precioso carácter para reconocerlos. Unos, como el hierro magnético o magnetita, la magnetopirita, el platino y otros minerales que contienen óxido de hierro, atraen los dos polos (magnetismo simple), y sólo ciertas magnetitas ejercen atracción sobre uno y repulsión sobre otro (magnetismo polar), por lo cual reciben el nombre de imanes naturales.

Los minerales y rocas que contienen hierro en su composición se vuelven magnéticos cuando actúa sobre ellos un poderoso electroimán, propiedad que se utiliza para separar en las rocas, previamente pulverizadas, los minerales ferríferos que entran en su constitución de los que no lo sean y poderlos estudiar así aisladamente.

OLOR, UNTUOSIDAD, ADHERENCIA A LOS LABIOS

Ciertos caracteres que se aprecian de un modo empírico por los sentidos del olfato, del gusto y del tacto, y que por llamarlos colectivamente de algún modo, suelen denominarse organolépticos, proporcionan a veces datos muy útiles para el reconocimiento de los minerales.

Aunque escasas, hay algunas especies que poseen olores propios, como el petróleo; otras lo desarrollan cuando se las quema, como el ámbar, y algunas desprenden el olor de las sustancias que encierran cuando se las frota, pulveriza o golpea, como acontece a la caliza y a la dolomita fétidas, que despiden olor a huevos podridos (gas sulfhídrico), o a la caliza bituminosa y a la pirita (ácido sulfuroso). Las sustancias arcillosas huelen a tierra húmeda cuando se las echa el aliento. El carácter del olor se relaciona con el del sabor, del cual diremos algo al tratar de la solubilidad en el capítulo siguiente.

Es característica la impresión que producen en los dedos ciertos minerales: suave y jabonosa en el grafito, el talco y la serpentina; deleznable y un poco áspera en el tripoli y la creta, y marcadamente áspera en los de naturaleza porosa, como la piedra pómez. Algunos, por ser buenos conductores del calor, determinan una sensación de frío cuando se los coloca en la mano, como el cuarzo y las piedras preciosas, lo que en parte depende del estado de pulimento de la superficie.

Por último, las arcillas, la sepiolita y algún otro mineral, en virtud de su estructura especial y de su avidez por la humedad, se adhieren por capilaridad fuertemente a la lengua o a los labios húmedos, lo cual suele denominarse *apegamiento*.

Química mineral.

CONSTITUCIÓN QUÍMICA

La Química mineral se ocupa, como sabemos, en el estudio de las propiedades referentes a la materia que constituye estos seres. Dos órdenes de cuestiones competen a este tratado: conocer la constitución de los minerales y dar las reglas para diferenciarlos unos de otros mediante ensayos químicos sencillos.

Cuerpos simples y compuestos.—Se llaman cuerpos o radicales simples o *elementos químicos* aquellos de los cuales no ha podido hasta ahora extraerse más que una sola clase de substancia y que por su combinación forman los *compuestos*.

Unos y otros se supone están constituidos por la reunión de infinito número de partículas pequeñísimas, inseparables aun por las acciones químicas y diferentes en cada cuerpo, llamadas *átomos*; éstos son todos de la misma naturaleza en el cuerpo simple, al paso que en los compuestos son de tantas cuantos son los simples que los constituyen. Los átomos se reúnen en grupos, constituyendo las *moléculas*, que las acciones mecánicas no pueden separar, pero sí las fuerzas químicas. Las moléculas de los cuerpos simples resultan de la asociación de átomos de igual naturaleza, y las de los compuestos, de la reunión de átomos diferentes.

Uniéndose o combinándose, los cuerpos simples dan origen a los compuestos; pero esta combinación no se realiza de un modo arbitrario, sino siempre en cantidades fijas para cada compuesto (*equivalente*).

Para expresar por escrito de un modo abreviado y preciso los elementos, se emplean símbolos, que están tomados de la inicial de su nombre latino, ya sola, ya seguida de otra letra, si el nombre de dos elementos comienza por la misma (1). Tratándose de los cuerpos compuestos, se escriben los símbolos de los simples que los constituyen con exponentes, para indicar la cantidad de cada uno de aquellos que entra a formar parte de la molécula del compuesto; a esto se llaman *fórmulas*. Así, por ejemplo, la calcita está constituida de calcio (*Ca*), carbono (*C*) y oxígeno (*O*), en la relación de 1 : 1 : 3, y la fórmula que expresa la constitución de su molécula será $CaCO_3$.

Unos cuantos minerales se consideran como cuerpos simples o *elementos*, por más que contienen de ordinario cortas cantidades de substancias extrañas mezcladas: entre ellos tenemos el azufre, el diamante, el grafito y varios metales nativos. Aparte de éstos, la inmensa mayoría de los minerales son compuestos químicos de elementos diversos de naturaleza inorgánica, puesto que los orgánicos sólo pueden encontrarse en los fósiles y en varios productos de procedencia vegetal, tales como las resinas, las sales orgánicas y los

(1) Como en todas las obras de Química se encuentran tablas de los cuerpos simples y de los símbolos con que se les representa, no creemos necesario reproducirlas.

carbones. De aquí resulta, como regla general, que los minerales propiamente dichos son compuestos inorgánicos.

En los tratados de Química se dan los conceptos generales relativos a la constitución de los cuerpos y a las leyes a que obedece, los cuales no podemos exponer aquí, limitándonos a recordar que se distinguen dos clases principales de combinaciones hidrogenadas: los *ácidos* y las *bases* (hidratos), caracterizados los primeros porque enrojecen el papel azul de tornasol, y las segundas, porque devuelven su color azul a dicho papel enrojecido por los ácidos, y coloran de rojo el amarillo de cúrcuma. Son los ácidos compuestos hidrogenados, formados por un radical simple o compuesto, cuyo hidrógeno puede ser sustituido total o parcialmente por un metal, resultando entonces un cuerpo que se llama *sal*. Las bases son las combinaciones formadas por hidrógeno, oxígeno y un metal, que al reaccionar con los ácidos producen sales. Perdiendo estos compuestos el hidrógeno, bien sea por su combinación con el oxígeno bajo la forma de agua, bien con el azufre bajo la de sulfhídrico, se convierten en óxidos o sulfuros del metal correspondiente.

El agua de los minerales.—Este importante cuerpo se encuentra formando parte de los minerales, de diversos modos: así, hay agua encerrada mecánicamente entre las partículas de la materia; ligada a las moléculas de los cristales o separados sus elementos en estado de oxígeno e hidrógeno capaces de combinarse bajo la acción del calor. Veamos cada uno de estos tres casos.

Los cristales suelen contener agua que puede haberse interpuesto de un modo regular y condensado entre sus moléculas al tiempo de la cristalización, siendo indispensable para que pudiera constituirse la forma geométrica de la substancia. Llámase por esto *agua de cristalización*; y la presentan, entre otros minerales, el yeso, el alumbre, los sulfatos metálicos ácidos o vitriolos, la epsomita o sal de la Higuera, etc.

Algunas de las sales hidratadas, como la epsomita mencionada, que es el sulfato magnésico cristalizado con siete moléculas de agua ($Mg SO^4, 7 H^2O$), ofrecen la particularidad de perder toda o gran parte del agua que contienen cuando están expuestas al aire, sobre todo si éste es seco, y se reducen a polvo, fenómeno que se designa con el nombre de *eflorescencia*. Otras sales gozan de la propiedad contraria; es decir, que en vez de perder agua por su exposición al aire, se apoderan de la que contiene el mismo en estado de vapor y se disuelven en ella, a lo cual se llama *delicuescencia*: tal acontece, y el hecho es bien conocido, a la sal común, merced a algo de cloruro magnésico que la acompaña casi siempre.

El agua higroscópica es la aprisionada de un modo mecánico; a ella se atribuye principalmente el fenómeno de la *decrepitación* o chisporroteo que produce la sal cuando se la echa en las ascuas, debido a la rotura de sus cristales por su desigual dilatación y por el paso súbito al estado de vapor del líquido encerrado entre ellos.

Ciertas substancias producen agua cuando se las somete a la

acción de un calor elevado, debida a originarse en estas condiciones una especie de transposición interna, cuyo resultado es la combinación del hidrógeno con el oxígeno y la separación subsiguiente del agua así formada, llamada *de constitución* o básica. Mientras que el agua de cristalización puede de ordinario separarse con facilidad de los cuerpos que la contienen, y también ser fácilmente recuperada por ellos, la de constitución no llega a recobrase de un modo directo una vez perdida. Sin embargo, en la práctica suele ser hasta imposible decidir si el agua que de un mineral se separa es de cristalización o, por el contrario, básica.

Relaciones entre la composición y la forma de los minerales.— Estas relaciones son de tal modo estrechas, que durante algún tiempo se tenía por axiomático el principio del *isomorfismo* formulado por Haüy, diciendo que «a cuerpos de la misma composición química corresponde una misma forma cristalina». No tardó, sin embargo, mucho en conocerse que esta afirmación no podía formularse con carácter absoluto, como vamos a ver.

Hay en la Naturaleza especies químicas perfectamente definidas y que afectan formas correspondientes a sistemas cristalográficos diversos, según las condiciones en que se han producido. Así, el carbonato cálcico se presenta unas veces en formas pertenecientes al sistema exagonal y constituye la especie llamada calcita (y entre sus variedades, el espato de Islandia, de que hemos hablado repetidamente), mientras que en otros casos origina los cristales rómbicos del aragonito. El carbono, regular en el diamante, es exagonal en el grafito, y los ácidos silíceo y titánico, algunos óxidos de antimonio y arsénico, etc., afectan formas que corresponden a dos sistemas distintos. Llámense *dimorfas* o *trimorfas* a las substancias que presentan esta particularidad, según sean dos o tres los sistemas en que puedan cristalizar, y en general *polimorfismo* a la propiedad de que tratamos.

Mitscherlich dió la noción del isomorfismo de una manera menos absoluta y más exacta que Haüy, diciendo que todos los compuestos que tienen constitución química semejante cristalizan en formas también semejantes o muy análogas. Buen ejemplo de ello son la calcita (carbonato cálcico), la dolomita (carbonato cálcico-magnésico), la siderita (carbonato ferroso), la giobertita (carbonato magnésico) y la smithsonita (carbonato zincico), que todas cristalizan en romboedros muy poco diferentes entre sí. Asimismo guardan estrecha relación en sus formas el aragonito (carbonato cálcico), la estroncianita (carbonato estróncico), la witerita (carbonato bórico) y la cerusita (carbonato plúmbico), todos rómbicos, y lo mismo acontece a la serie de los sulfatos rómbicos (baritina, celestina, anglesita).

El concepto del isomorfismo ha dado lugar a apreciaciones muy distintas por parte de los químicos. Parece, sin embargo, bien averiguado que el verdadero carácter decisivo para afirmar el isomorfismo de dos substancias estriba en la facultad de cristalizar

unidas juntamente y en proporciones variables, constituyendo un cristal homogéneo (1). Tales son las *mezclas isomorfas* que presentan muchos minerales, y particularmente interesantes tratándose de los feldespatos asimétricos, como veremos al hablar de ellos. En el lenguaje vulgar se expresa esta circunstancia diciendo que en una misma combinación química los componentes isomorfos pueden *reemplazarse* mutuamente sin que aquélla sufra alteración esencial alguna, ni de forma cristalina ni de las demás propiedades físicas dependientes de ella.

ENSAYOS QUÍMICOS DE LOS MINERALES

Análisis y ensayo.—Los procedimientos químicos que sirven para averiguar los elementos que entran en la composición de los cuerpos se llaman *análisis*, diciéndose cualitativo cuando se circunscribe a saber cuáles sean éstos, y cuantitativo cuando determina, además, la cantidad en que lo hace cada uno de ellos. El mineralogista emplea métodos abreviados, reconocimientos preliminares las más de las veces que le sirven para distinguir con prontitud las substancias objeto de su estudio, con ayuda de los demás caracteres morfológicos y físicos, que no son, por consiguiente, verdaderos análisis, y se llaman *ensayos*. A éstos nos vamos a referir exclusivamente, pues sería sumamente largo y exigiría muchos precedentes enseñar los procedimientos de análisis, cuyo estudio corresponde a la Química.

En los laboratorios mineralógicos se realizan también *síntesis* encaminadas a reproducir las especies cuya composición se conoce por el análisis cuantitativo, para averiguar por analogía con los procedimientos empleados los que la Naturaleza ha puesto en juego para crear aquéllas.

Para conocer la composición de los minerales, se emplean los reactivos, es decir, cuerpos que, obrando químicamente sobre aquéllos, muestren fenómenos característicos y fáciles de apreciar. Con ayuda de ellos se pueden practicar ensayos por vía seca y por vía húmeda.

Ensayos por vía seca.—Este método, que es el propiamente mineralógico, se funda en los cambios que presentan muchas substancias sometidas a la acción del calor, y da los procedimientos más breves para llegar al conocimiento de los elementos característicos de gran número de minerales.

Cualquier llama puede emplearse en la mayor parte de los casos: la de una lámpara de alcohol; a falta de ella, la de una bujía, y mejor la de aceite de oliva, con la cual se obtienen temperaturas más elevadas; pero la llama preferible, por producir un calor

(1) Así, mezclando disoluciones de dos sales isomorfas, como el sulfato de zinc y la epsomita antes mencionada, se forman cristales mixtos de sulfato zincico magnésico, cuya forma se parece bastante a la de sus componentes y contiene cantidades variables de uno y otro.

suficiente y no dar residuos que, cubriendo el ensayo, impidan la observación de los fenómenos que en éste se originan, es la del gas del alumbrado ardiendo en un mechero especial (mechero de Bunsen).

En toda llama se distinguen cuatro partes distintas por su color e intensidad lumínica, las cuales pueden reducirse a dos zonas principales bien caracterizadas por su función química: una interior, de baja temperatura, pero rica en carbono libre y en carburos de hidrógeno, y otra externa, de temperatura elevada, que se halla en contacto con el oxígeno del aire atmosférico; sometiendo el mineral que se quiere ensayar a la acción de la primera, le priva de oxígeno, por lo cual se la denomina *reductora*, al contrario que la segunda, la cual es *oxidante*, es decir, que favorece la combinación de los elementos de los minerales con este cuerpo.

Soplete.—Con objeto de aumentar la temperatura del foco de calor que se emplee y de dirigir sobre el ensayo ya una, ya otra de las zonas de la llama de que acabamos de tratar, se hace uso del soplete. Este sencillo instrumento está formado por dos tubos metálicos unidos en ángulo recto; uno, más largo que el otro y ligeramente cónico, termina en un extremo por una boquilla de hueso para aplicarla a la boca e insuflar con ella el aire, y por el otro extremo, en un ensanchamiento cilíndrico destinado a condensar el vapor de agua de la respiración. Con este depósito se une en ángulo recto el tubo corto, el cual termina en una punta de platino provista de un pequeño orificio de salida (1).

El ensayo puede sostenerse ya con unas pinzas de presión continua, cuyos extremos sean de platino, o en un alambre de este metal (siempre que el mineral no contenga antimonio o arsénico, que atacan a dicho cuerpo cuando se eleva la temperatura), ya sobre un trozo de carbón de pino bien calcinado y sin hendiduras, y mejor el carbón artificial hecho exclusivamente con este objeto.

Para reconocer la fusibilidad se toma una esquirla muy pequeña del mineral con las puntas de platino de las pinzas, y dirigiéndola el dardo del soplete, se puede observar si se funde inmediatamente o si lo hace al cabo de algún tiempo; si la fusión es total o se limita a los bordes más finos, y si como resultado se origina un producto semejante a un vidrio o a una escoria y, en fin, si permanece inalterable.

Ensayos sobre el carbón.—Tratándose de producir reacciones que permitan reconocer los principales elementos que constituyen el mineral, el procedimiento que suministra mayor número de datos

(1) Como importa no se interrumpa el ensayo una vez comenzado, el operador necesita aprender a sostener una corriente continua, teniendo los carrillos hinchados de aire y respirando por la nariz, lo cual exige cierta práctica. Por eso, actualmente, prefieren algunos servirse, para producir la corriente, de las bolas de caucho de los pulverizadores, las cuales se enlazan con un tubo de vidrio encorvado que atraviesa un tapón, uniendo el extremo opuesto del tubo de vidrio al corto del soplete, mediante uno de goma.

por la vía seca es el de los ensayos por medio del carbón. Para ellos son necesarios algunos reactivos, que, se clasifican según su acción, en *fundentes* (carbonato sódico, bórax, o sea tetraborato sódico, y sal de fósforo, o sea el fosfato sódico amónico), *reductores* (carbón y cianuro potásico) y *oxidantes* (nitro y clorato potásico). Como accesorios para estos ensayos debe disponerse de un morterito de ágata, un yunque y un pequeño martillo, ambos de acero, una aguja imantada y una lente.

El mineral que se haya de tratar se pulveriza en el mortero, y con su polvo, solo o mezclado con un fundente y mojado, se forma una pasta que se coloca en una pequeña cavidad abierta al efecto en el carbón. Haciendo llegar a ésta el dardo del soplete, se nota desde luego si la masa se funde con más o menos facilidad o si no se funde, el color que comunica a la llama, si decrepita, si desprende humos, etc.

Los minerales que contienen azufre dan por la acción de la llama el olor llamado *de pajueta*, propio de este cuerpo cuando arde, así como los arsenicales desprenden vapores blancos con olor *de ajos*, como suele decirse, y los mismos vapores, pero inodoros, los antimoniales. Los compuestos de arsénico y antimonio dejan alrededor del ensayo en el carbón una aureola blanca o azulada debida a la precipitación de sus óxidos, y también mezclados con fundentes y reductores botones o globulillos metálicos. Los sulfuros y sulfatos se reconocen tratando el residuo que queda en la mezcla del mineral con carbonato sódico y cianuro potásico por la llama reductora del soplete, resultando una masa que cuando se la moja huele a huevos podridos, y poniéndola húmeda sobre una moneda de plata la ennegrece. Llámase a esta masa *hepar*.

La alúmina, la magnesia y el zinc pueden revelarse colocando sobre el carbón el mineral, humedeciéndole con unas gotas de solución diluída de nitrato de cobalto y calentándolo fuertemente a la llama de oxidación. En estas condiciones, la alúmina da una masa azul infusible; la magnesia, de color de carne, y el óxido de zinc, verde.

Perlas.—Algunos compuestos metálicos se reconocen por los colores característicos que comunican al bórax fundido previamente en el anillo de un alambre de platino formando una bolita de aspecto cristalino, o sea una *perla*. También puede emplearse para ella la sal de fósforo, pero se reservará ésta para ciertos ensayos especiales, por ser más cómodo el manejo del bórax. En ambos casos se funda el ensayo de que tratamos en la propiedad que tienen dichos cuerpos de formar, con ciertas bases metálicas, compuestos fusibles, coloreados y transparentes.

El cuadro siguiente presenta las coloraciones más características que comunican a la perla del bórax algunos óxidos metálicos importantes:

OXIDOS	Llama de oxidación.		Llama de reducción.	
	En caliente.	En frío.	En caliente.	En frío.
Hierro.....	Amarilla.	Incolora.	Verde.	Verde.
Cobre.....	Verde.	Azul.	Incolora.	Parda opaca.
Cobalto.....	Azul.	Id.	Id.	Id.
Niquel.....	Pardo rojizo.	Rojo obscuro.	Gris.	Gris.
Cromo.....	Verde.	Azul.	Incolora.	Parda opaca.
Manganeso.....	Violada.	Violada.	Id.	Incolora.

Por medio de la sal de fósforo se pueden distinguir los minerales oxidados de algunos metales más raros que los citados en el cuadro precedente (molibdeno, tungsteno, urano y titano); pero es aplicación más importante de aquélla reconocer si el mineral ensayado es un silicato, pues en este caso la sílice libre, en forma de una especie de escoria del tamaño que tenía el trocito desprendido, queda nadando en la perla fundida.

Coloración de la llama.—La presencia de algunos cuerpos en ciertos minerales se revela por la coloración particular que comunican a una llama poco luminosa, como la del alcohol o la incolora del mechero Bunsen. Este fenómeno se hace mucho más perceptible humedeciendo las substancias con ácido clorhídrico. El sodio tiñe la llama de amarillo; el calcio y el estroncio, de rojo; el ácido bórico, de verde; el cobre, de azul, etc.

Para apreciar la coloración en pequeñas cantidades de mineral, o cuando los cuerpos de que se trata están en combinaciones complejas, hay que preparar disoluciones clorhídricas de ellos, privándoles más o menos de los otros elementos que los acompañan y observando mediante el espectroscopio.

Ensayos en tubos abiertos y cerrados.—En el llamado *tubo cerrado*, que lo está por uno de sus extremos, como los de ensayo que se usan habitualmente en las manipulaciones químicas, se puede reconocer, secándolos bien previamente, si los minerales calentados en ellos contienen agua de interposición o cristalización, pues en este caso, en la parte fría del tubo se condensa el vapor en forma de gotitas. También sirve este medio para revelar si el mineral es fijo o volátil, fusible o infusible.

El *tubo abierto* por ambos extremos es delgado y acodado, a propósito para colocar en la curvatura polvo del mineral que se trata de ensayar. Dirigiendo allí el dardo del soplete, se convierte en un pequeño aparato de torrefacción, donde los elementos combustibles se oxidan por la abundancia de aire que circula y a favor de la temperatura elevada a que se somete el ensayo. Además de los olores ya dichos que desprenden los compuestos de azufre y arsénico, puede observarse la mancha o sublimado que se produce en el tubo, la cual es fija cuando procede del antimonio, y volátil y susceptible de pasearse en dicho tubo, cuando es de arsénico.

Ensayos por vía húmeda.—Para reconocer un mineral por esta vía, es necesario ante todo disolverle, único modo de que actúen so-

bre él los reactivos. Los pocos que se disuelven en el agua y, por consiguiente, en la saliva, ofrecen sabores característicos; así, la sal común, el nitro y la sal de la Higuera le tienen, respectivamente, salado, fresco y amargo.

La inmensa mayoría de los minerales son insolubles en el agua, y muchos se disuelven en los ácidos nítrico y clorhídrico o en la mezcla de ambos, llamada agua regia. A los que directamente no son atacados por ninguno de estos reactivos, como sucede a muchos silicatos, se les funde previamente con una mezcla de carbonato sódico y potásico, o se los trata por el ácido fluorhídrico o el fluoruro amónico.

Durante la disolución se presentan muchas veces fenómenos que importa observar: en primer lugar, si se lleva a efecto tranquilamente o con efervescencia, es decir, acompañada de ebullición y desprendimiento gaseoso; en este segundo caso, el gas puede ser inodoro, como el anhídrido carbónico, o poseer olor, como el sulfhídrico, que dejan libre los sulfuros, el cual huele a huevos podridos; los óxidos metálicos ricos en oxígeno (pirolusita) desprenden cloro, de olor fuerte e irritante al disolverse en el ácido clorhídrico. El color de las disoluciones es también algunas veces característico.

Una vez disuelto el mineral, pueden practicarse los ensayos necesarios para investigar los radicales metálicos y los ácidos que entran en su composición aplicando los procedimientos y reactivos que la Química aconseja para distinguir unos cuerpos de otros. Así, las disoluciones de los cloruros se reconocen por dar precipitado blanco, de aspecto de leche cuajada, tratadas con el nitrato de plata; la de los sulfatos le producen también blanco con la disolución del cloruro bórico; las de hierro dan un poso rojo y gelatinoso añadiéndoles amoníaco (1), reactivo que caracteriza muy bien al cobre por el color azul intenso que produce, añadiéndolo en exceso a sus disoluciones; las de plomo precipitan en blanco por la adición de unas gotas de ácido sulfúrico o de una disolución de un sulfato; las de zinc dan con el sulfuro amónico un precipitado también blanco de sulfuro de zinc, insoluble en exceso de reactivo.

Ensayos microquímicos. — Modernamente se han descubierto procedimientos especiales para averiguar los componentes más característicos de los minerales en proporciones reducidísimas, cuyos métodos se basan en el reconocimiento microscópico de los cristales que suelen formarse al tratar aquéllos por los reactivos. En la mayoría de los casos hay que empezar por disolver el mineral en alguno de los ácidos que antes hemos indicado, y después de tratadas estas disoluciones por reactivos apropiados, se recoge el residuo

(1) Distingúense dos clases de sales de hierro: férricas y ferrosas. Ambas dan precipitado de color azul, algo distinto en cada caso, tratadas en solución neutra por el ferrocianuro potásico, pero se diferencian fácilmente unas de otras porque sólo las férricas toman coloración roja intensa con el sulfocianuro potásico.

crystalino y se le examina al microscopio polarizante. Así, por ejemplo, las disoluciones de calcio tratadas por el ácido sulfúrico dejan, al evaporarse sobre un portaobjetos, laminillas y maclas monosimétricas de sulfato cálcico, de forma característica; las de aluminio dan con el cloruro de cesio unos cristales octaédricos, etcétera. Estos procedimientos, llamados *microquímicos*, tienen la ventaja de revelar la naturaleza de muchos minerales microscópicos, pudiendo verificarse el reconocimiento con sólo centésimas de miligramo.

Análisis cuantitativo.—Los ensayos químicos de que hemos hablado sirven únicamente como medios prácticos para el reconocimiento de los minerales; pero ni éstos ni los análisis cualitativos son suficientes para dar la fórmula de las especies. Para establecer ésta es preciso conocer la *composición centesimal*, o sea la cantidad que existe de cada uno de los elementos en cien partes del mineral, y el peso atómico de ellos, y en virtud de consideraciones que no son de este lugar, con estos y otros datos, llega a establecerse la fórmula que representa la constitución de su molécula. Para esto hay que seguir fielmente los procedimientos que recomienda el análisis cuantitativo; trabajo delicado y bastante difícil, que es de la competencia del químico.

Mineralogía descriptiva.

CLASIFICACIÓN Y NOMENCLATURA

Especie.—Se define la especie mineralógica como conjunto de minerales que, teniendo igual composición, afectan formas pertenecientes al mismo sistema con igual forma primitiva. Así, dos sustancias, aunque estén constituidas por los mismos cuerpos, pertenecerán a especies diversas si cristalizan en sistemas distintos; de ello son ejemplo, entre otros, el ya citado de la calcita, que es exagonal, y el aragonito, que es rómbico, no obstante de consistir la sustancia de ambos en carbonato cálcico.

La especie mineralógica no es idéntica a la especie química, como sólo por lo ahora dicho podría inferirse; además, aunque la primera pueda representarse *aproximadamente* por fórmulas semejantes a las de otras tantas especies químicas, la Naturaleza no nos ofrece casi nunca sustancias absolutamente puras, siendo los minerales casi siempre mezclas complejas de cuerpos; en algunos, además de compleja, es tan variable, que se hace imposible representarla por fórmulas definidas. No hay que olvidar que el naturalista estudia los minerales como seres histórico-naturales, y que, por tanto, lo hace de un modo distinto que el químico, por más que se sirva de los datos que éste le proporciona para distinguirlos, clasificarlos y darse cuenta de las transformaciones que experimentan.

Dentro de las especies se constituyen *variedades* con los minera-

les que difieren por su estructura, dureza, color y otros caracteres que no son los dos únicos esenciales, es decir, la forma y la composición. Además, en esta última puede haber sustituciones parciales de unos cuerpos por otros. que den lugar a variedades.

Grupos mineralógicos.—Los grupos primordiales o *clases* se constituyen con todos aquellos minerales que poseen más analogía en su composición química; las clases se subdividen, atendiendo a afinidades de composición y forma cristalina, en grupos secundarios (órdenes, familias, géneros); pero como para su formación no reina todavía ningún criterio absoluto, y ha de ser muy corto el número de especies de que vamos a ocuparnos, prescindimos de ellos para no sobrecargar de nombres este tratado de la Geología. Solamente en el grupo de los silicatos consideraremos las familias, por ser en él más naturales que en ningún otro.

Nomenclatura.—No siendo los minerales, como acabamos de decir, especies químicas, los modernos adoptan para ellos nombres que nada dicen respecto a su composición. Esta nomenclatura es *mononímica*, es decir, de una sola palabra, en vez de ser binaria, como tratándose de los vegetales y los animales, que se designan con un nombre genérico y uno específico, lo cual no sería conveniente en Mineralogía, donde el concepto de género carece de precisión. Aquí sólo la especie es el grupo bien definido, y por eso basta una palabra que la exprese para denominar los minerales (1).

Clasificación de los minerales.—Puede basarse la clasificación sobre los caracteres físicos o morfológicos, los yacimientos o sobre la composición química, si bien las más empleadas son las que reposan sobre este último carácter. Entre las clasificaciones químicas, unas agrupan las sales según la base, y otras según el ácido, resultando en cada caso una distribución enteramente distinta de las especies. El agrupamiento de éstas, atendiendo al ácido cuando se trata de sales, y según el elemento electro-negativo (azufre, flúor, etc.), en los compuestos binarios, muestran mucho mejor la analogía de los cuerpos en relación con sus propiedades cristalográficas. Así, los carbonatos forman dos series isomorfas, una romboédrica y otra rómbica (pág. 105).

Se han propuesto diversas clasificaciones de los minerales. Werner fué el primero que a fines del siglo XVIII se ocupó en metodizar los conocimientos relativos a los materiales constitutivos del globo, y después, otros mineralogistas, basándose en caracteres diversos, tanto físicos como geométricos, químicos y geológicos, según el punto de vista de cada uno, han ideado diversas clasificaciones en armonía con los descubrimientos realizados hasta su época.

Nosotros adoptamos la clasificación química del profesor P. Groth,

(1) A veces, una misma especie ha sido designada por los autores con varios nombres, los cuales forman su *sinonimia*. En general, las designaremos con el que se empleó primero, siguiendo la regla adoptada en las ciencias biológicas; pero en ocasiones, convendrá indicar también, para evitar confusión, algunos sinónimos y siempre los nombres vulgares con que se las designa en nuestro país, cuando los tengan.

de Munich, que agrupa las especies en diez clases, según el ácido o el elemento electro-negativo, como antes se ha dicho, empezando por los cuerpos simples, siguiendo luego los compuestos binarios y, por último, las sales. Esta clasificación es la que responde mejor al estado de los últimos adelantos de la Mineralogía y de la demás ciencias que con ella se relacionan.

Según la clasificación de Groth, se dividen los minerales en las diez clases siguientes:

- I. Elementos.
- II. Combinaciones del azufre, arsénico, antimonio y bismuto con los demás cuerpos simples.
- III. Combinaciones del oxígeno con los demás elementos.
- IV. Sales haloideas.
- V. Nitratos, carbonatos y selenitos.
- VI. Sulfatos, cromatos, molibdatos, tungstos y uranatos.
- VII. Borato, aluminatos, ferratos, arsenitos y antimonitos.
- VIII. Fosfatos, arseniats, antimoniats, etc.
- IX. Silicatos.
- X. Minerales de origen orgánico.

Debemos advertir que en el presente libro no es posible indicar los caracteres de todas las especies mineralógicas conocidas, que llegan a mil, ni aun siquiera dar los generales de todos los grupos en que las clases se dividen, habiendo de limitarnos a hacerlo únicamente de aquellos que contienen los minerales más frecuentes, ya se encuentren solos, ya formando parte de las rocas y de las especies más importantes por sus aplicaciones.

CLASE I

Elementos.

Forman esta clase los cuerpos simples, que como tales se hallan en estado libre en la corteza de nuestro planeta. Tratándose de los metales, se les suele aplicar el calificativo de *nativos* o *virgenes*, como se decía antiguamente; así se dice *cobre nativo*, *oro nativo*, etcétera, si bien aquí este adjetivo es innecesario, pues en Mineralogía sólo tratamos de sustancias naturales. El reconocimiento de las especies comprendidas en esta clase no es difícil, tanto por su escaso número, como por lo características y fáciles de apreciar que son sus propiedades.

Diamante.—Carbono puro, *C*; cristalizado en todas las formas holoédricas del sistema regular, frecuentemente de caras curvas, como el exaoctaedro representado en la figura 79; es uno de los cuerpos que refractan más la luz, siendo su índice de refracción casi doble del de el agua. A menudo encierra inclusiones gaseosas de hidrocarburos en cavidades triangulares o cuadrangulares (figura 80), alrededor de las cuales muestra la doble refracción y a cuyos gases parece debida la fosforescencia que desarrolla por insolación

(página 100); lustre adamantino; frágil; fractura concoidea; $d = 10$; $p = 3,53$ (1). Es incoloro u ofrece colores variados, amarillo, rojo, verde, azul, pardo, negro; transparente, translucientes los negros.

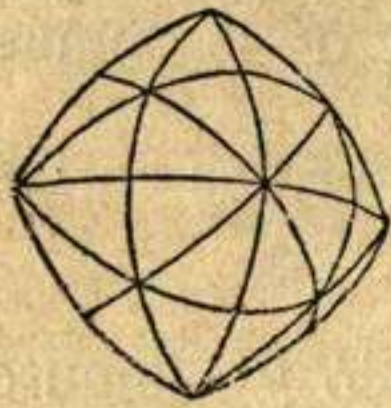


Fig. 79.



Fig. 80.

Inatacable⁽¹⁾ por los ácidos y las bases; arde quemándose completamente cuando se le calienta en una atmósfera de oxígeno, emitiendo una luz intensísima y produciendo anhídrido carbónico (CO_2).

Se conocen tres variedades: *diamante* propiamente dicho, que se halla en cristales aislados o en grupos de cristales; *bort*, bolas de estructura radiada, y *carbonado*,

que forma masas cristalinas negras, a veces del tamaño de un puño, y deja un 2 por 100 de cenizas por su combustión en el oxígeno.

Moissan obtuvo diamantes artificiales microscópicos, mezclando carbón puro con hierro y elevando la mezcla a temperaturas superiores a 2.000° ; el carbono disuelto en la fundición de hierro apareció en el interior de la masa después de fría, transformado en parte en los citados diamantes. Boismenu los ha obtenido posteriormente (1910) de tamaño que permite su talla.

En la mayor parte de las localidades, el diamante constituye granos sueltos, asociado a los detritos de otros minerales, como en Golconda (India), yacimiento hoy casi agotado; Minas Geraës y Bahía, en el Brasil, donde también se halla en una arenisca; recientemente parece se le ha encontrado formando parte de un granito en Madrás (India). Se extraen hoy en bastante cantidad de los montes Urales, y especialmente del cabo de Buena Esperanza, entre las arenas de los ríos Vaal y Orange, de donde se ha sacado en estos últimos años tal número, que ha hecho bajar considerablemente el precio de esta gema.

En joyería se usa el diamante como la piedra preciosa de más valor; pero para que brille es preciso tallarlo, lo que se hace de diversa manera, según sus condiciones: en *roseta*, en *tabla*, como se acostumbraba antiguamente, o en *brillante*. Para llegar a esta forma artificial se eligen los ejemplares más gruesos, partiendo del octaedro, que se obtiene por exfoliación primero, y luego, con polvo de bort o de otros diamantes de menos mérito, se producen por desgaste las demás facetas, que cuanto más numerosas y limpias son, mayor número de descomposiciones de la luz originan.

El diamante, por ser el cuerpo más duro que se conoce, aplicase para rayar y cortar el vidrio y otros cuerpos duros.

Esta piedra fina, como todas las demás, se vende por quilates (cada quilate son unos 200 mg.), cuyo precio, después de la talla, oscila entre 250 y 300 pesetas, creciendo extraordinariamente a medida que excede del quilate. El diamante mayor que se conocía

(1) d = dureza; p = peso específico.

inatacable

hasta hace poco era el llamado Gran Mogol, que pesa 208 quilates, y el más bello de todos, el Regente de Francia, tallado en brillante, que vale unos 5 millones; el más grueso que se ha encontrado, en América, pesaba 120 quilates y pertenecía a la corona de Portugal; conserva su forma octaédrica natural. No hace mucho se descubrió, en el Transvaal, el gigante de los diamantes, el Cullinan, comprado en 3.750.000 francos por el Gobierno del Transvaal; pesaba 3.024 quilates, y valdría, tallado, 25 millones. El bort, reducido a polvo, se usa para pulir el diamante y otras piedras preciosas, y el carbonado, que procede casi todo de la Chapada, provincia de Bahía, en el Brasil, desprovisto de valor en joyería, se emplea en los aparatos modernos de perforación y sondeo, sirviendo, en virtud de su dureza, para taladrar toda clase de rocas.

Grafito, plumbagina, lápiz-plomo.—Es un carbono con algunas impurezas, especialmente de óxido férrico. Algunas veces se presenta en cristales de apariencia exagonal, pero ordinariamente lo hace en laminillas y masas laminares de color gris de hierro, polvo negro y raya del mismo color sobre el bizcocho de porcelana; fácilmente exfoliable paralelamente a las láminas; fractura desigual; lustre metálico; untuoso al tacto; $d = 1$ a 2 ; $p = 2,06$ a $2,20$, según su pureza. Infusible al soplete; arde en el oxígeno con más dificultad que el diamante, dejando mayor cantidad de cenizas; el producto de su combustión es CO^2 .

En los alrededores de Marbella (Málaga) existe una serie de criaderos de grafito que ocupa, según el Sr. Naranjo, 12 leguas de E. a O., y 4, de N. a S.; también se halla en Benabarre (Huesca), Huelma (Jaén), y en Siberia, Chile, Perú, Finlandia y Estados Unidos, siempre en terrenos antiguos. Se usa en la fabricación de lápices y, merced a su infusibilidad, en la de crisoles; como lubricante en las máquinas, mezclado con sebo; para barnizar objetos de fundición, y, por ser muy buen conductor de la electricidad, para cubrir los moldes en la galvanoplastia.

Azufre. S.—Rómbico; sus cristales son pirámides, ya solas (figura 81), ya combinadas con domos y la base (fig. 82). Es un mineral compacto o térreo, de color amarillo característico en las variedades cristalizadas o melado, y más claro en las compactas y térreas, que, a veces, sin embargo, son pardas o negras. Fractura concoidea, lustre adamantino en las caras de los cristales y resinoso en la fractura; polvo amarillo; $d = 1,5$ a $2,5$; $p = 1,9$ a $2,1$. Funde a 114° , hierve a 450° y a 270° se inflama en el aire, ardiendo con llama azulada débil y con desprendimiento del gas anhídrido sulfuroso (SO^2), de olor a pajuela, por lo cual es muy fácil conocer esta especie. Cuando se calienta fuera del contacto del aire, se volatiliza y después se deposita en forma de polvo

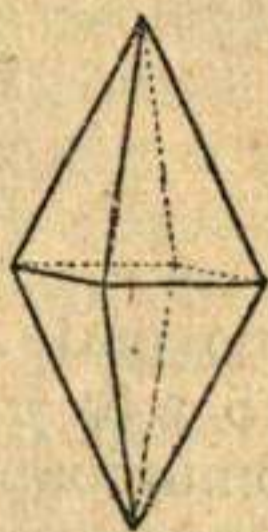


Fig. 81.

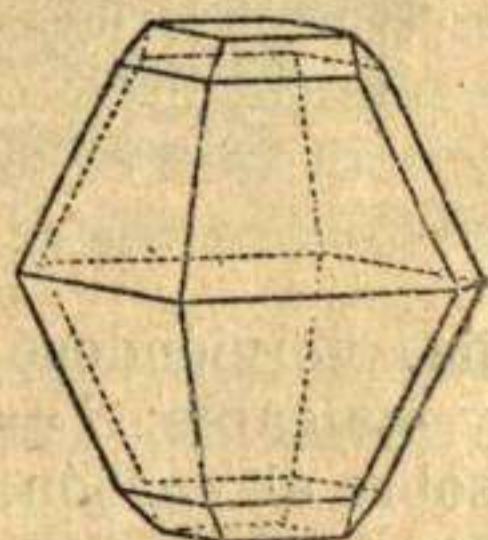


Fig. 82.

llamado *flor de azufre*. Es insoluble en el agua y en los ácidos, pero soluble en el sulfuro de carbono, cuya solución cristaliza en pirámides rómbicas, como los cristales naturales, mientras que si se ha fundido, dejándole enfriar lentamente, lo hace en agujas monosimétricas.

Se halla el azufre en terrenos volcánicos y en los llamados volcanes fangosos, que son formaciones de origen orgánico en parte (página 52), asociado al yeso, a la celestina, etc., como en Conil (Cádiz), localidad notable por sus bellísimos cristales, así como los de Perticara (Italia), sumamente perfectos, que suelen estar cubiertos de asfalto; en Hellín (Murcia) se presenta de color melado, a veces bastante rojizo. Existe en el cráter de algunos volcanes, como en Filipinas y en el del Teide (Canarias), azufral de Chillán, Potrero del Azufre (cordillera de Tinguirica) y en el desierto de Atacama (Chile). El de los volcanes verdaderos suele ser muy puro y se llama *azufre nativo*; los sedimentarios, que son la mayoría, están mezclados con materias extrañas que hay que separar para entregarlos al comercio.

Este cuerpo tiene numerosas aplicaciones en medicina y en las artes, sirviendo también para la fabricación del ácido sulfúrico, del que se hace gran consumo, y de la pólvora (1); la flor de azufre se emplea para el azufrado de las vides, con objeto de combatir el ataque de un hongo microscópico llamado *oidium* (2).

Hierro. *Fe.*—Hasta hace pocos años no se conocía el hierro en estado nativo más que en algunos meteoritos, en los cuales siempre se halla asociado a otras sustancias (níquel, cromo, cobalto, etc.); pero posteriormente se ha descubierto en ciertas rocas volcánicas, y, sobre todo, en las de la isla de Disco (Groenlandia), donde le encontró, formando masas enormes, el profesor Nordenskiöld. Contiene este hierro carbono (4 ó 5 por 100), azufre y níquel. Posee todos los caracteres del metal obtenido industrialmente a expensas de los minerales ferríferos, que trataremos.



Fig. 83.

Cobre. *Cu.*—Regular, comúnmente en octaedros; constituye masas dendríticas (figura 83), filiformes, reticuladas o en chapas; brillo metálico y color rojo vivo característico en el interior, que se empa-

ña, volviéndose rojo mate, negro o verde, en la superficie; dúctil y maleable; $d = 2,5$ a 3 ; $p = 8,8$. Se funde fácilmente al soplete sobre el carbón, comunicando color verde a la llama; al fuego de

(1) La pólvora ordinaria es una mezcla de nitro, carbón y azufre en proporciones que varían según haya de emplearse en la guerra, la caza o las minas para los barrenos. Hoy sustituyen a la pólvora en muchos de estos usos otras materias explosivas de origen orgánico (dinamita, melinita, etc.).

(2) El año 1907 se obtuvieron 27.050 toneladas en España, procedentes de las provincias de Albacete, Murcia y Almería, valiendo 174.810 pesetas.

oxidación produce con el bórax un vidrio verde en caliente, azul en frío, que se vuelve rojo y opaco al de reducción; es soluble en el ácido nítrico, con desprendimiento de vapores rutilantes, dando un licor verde, que con un exceso de amoníaco se vuelve azul intenso. Preséntase en masas de tamaño variable, acompañando a otros minerales de cobre, de quienes procede por reducción, en Linares (Jaén), Riotinto, Tharsis y otras minas de la provincia de Huelva, y en la continuación de esta zona, en las minas de San Domingos y otras en los distritos de Evora y Beja en el Alemtejo (Portugal), la Villa del Cobre, en Santiago de Cuba, y la isla de Luzón, en Filipinas. En el Museo Nacional de Ciencias Naturales existe una masa de cobre metálico, cuya superficie está erizada de octaedros de la misma substancia, que pesa más de 72 Kg. y procede de una mina de San Bartolo en el desierto de Atacama (Chile); pero en ninguna parte se ha encontrado el cobre metálico en tan gran cantidad ni en masas tan considerables como en las orillas del Lago Superior (América del Norte), de una de cuyas minas se extrajo un trozo que pesaba 200 toneladas.

Tiene el cobre muchas aplicaciones en las artes, ya solo, bajo forma de chapas, alambres o clavos, ya unido a otros metales en estado de aleaciones (1).

La mayor parte del cobre que se utiliza en la industria se obtiene de los compuestos naturales de este metal, pues el nativo es mucho más escaso.

Mercurio, azogue. Hg.—Único metal líquido a la temperatura ordinaria, a la cual es también volátil; hierve a 350° C., dando un vapor transparente, cien veces más pesado que el hidrógeno a la misma temperatura y presión; se solidifica a — 40° C.; $p = 13,5$. Se halla libre en Almadén y Almadenejos (Ciudad Real); Huancavelica, en el Perú; Nuevo Almadén, en California; pero sólo en pequeños depósitos o bolsones, y más generalmente en gotas, impregnando al cinabrio o sulfuro de mercurio, las cuarcitas y ciertas piritas que suelen encerrarlo. Se emplea para la obtención de sales usadas en medicina; tiene la rara facultad de disolver el oro y otros metales, y cuando la cantidad de éstos es muy abundante con relación a la del mercurio, forma las amalgamas; así, con el estaño se produce el llamado *alinde* con que se azogan los espejos. El mercurio es sumamente usado en las manipulaciones de Física y Química. Sirve también para la fabricación del bermellón (2).

Plata. Ag.—Regular, en octaedros y otras formas holoédricas, pero sobre todo en agrupaciones dendríticas y también laminar,

(1) De ellas, las más importantes son: la liga de las monedas y alhajas de oro y plata; el latón, formado de cobre y zinc; el latón que imita al bronce, el cual consta de cobre, zinc y estaño, y sirve para la construcción de piezas de frotamiento en locomotoras y otras máquinas; el bronce de estatuas, aleación de cobre, zinc, estaño y plomo; el bronce de campanas, de cobre y estaño; la plata nueva y la plata Meneses: metales blancos que contienen cobre, níquel y zinc.

(2) El año 1907 produjeron mercurio a expensas del sulfuro o cinabrio, de que luego trataremos, las provincias de Ciudad Real, Granada y Oviedo; sobre todo la primera, merced a su gran mina de Almadén, que dió 1.160.883 Kg., valiendo unos ocho millones de pesetas.

capilar, en chapas, alambres y clavos sobre la roca que le sirve de ganga; de color blanco característico en el interior, mate más o menos ennegrecido al exterior; $d = 2,5$ a 3 ; $p = 10,1$ a 11 ; dúctil y maleable. Fusible; soluble en el ácido nítrico, de cuya disolución es precipitada al estado de cloruro argéntico, insoluble en los ácidos, pero no así en el amoníaco, mediante el ácido clorhídrico o los cloruros solubles; este precipitado, que tiene el aspecto de leche cuajada, se ennegrece por la acción de la luz.—Se encuentra la plata en filones con otros compuestos del mismo metal, de cuya reducción procede, y en granos diseminados y frecuentemente invisibles en el cobre, la galena, etc.—Hállase filamentosa en Las Herrerías (Sierra Almagrera), entre una marga moderna; en Horcajo (Ciudad Real), capilar sobre galena o sulfuro de plomo (1); de Hiendelaencina (Guadalajara) también se ha extraído algo de plata nativa. En algunas minas de Chañarcillo, en Copiapó (Chile), se dan los barrenos en la misma plata. Se usa aleada con el cobre para la fabricación de la moneda y alhajas de plata; sus compuestos tienen gran aplicación en la medicina, fotografía y galvanoplastia (2).

Oro. *Au.*—Regular; formas comunes, el octaedro y el exaedro, pero generalmente en masa laminar, dendrítica o filiforme; de color característico; muy dúctil y maleable; $d = 2,5$ a 3 ; $p = 15$ a $19,4$. Contiene plata casi siempre y con frecuencia otros metales raros en pequeña cantidad. Fusible, insoluble en los ácidos, pero soluble en el agua regia. Hállase el oro en el cuarzo de las pizarras cristalinas y también en otras rocas (granito, pórfidos y traquitas), y en los ríos y aluviones llamados *placeros* en forma de polvo, laminillas y granos, que, cuando alcanzan algún tamaño, se llaman *pepitas*. Citaremos entre las localidades en que existe, siquiera en España sea sólo en pequeña cantidad, La Nava del Rico-Malillo (Extremadura); La Nava de Jadraque (Guadalajara); Peñaflor (Sevilla); en las arenas de los ríos Sil, Boeza, Luna y otros del Bierzo (León), de Galicia, y del Darro, en Granada. La mayor parte del que circula actualmente procede de California y Australia. En el Transvaal (Africa Meridional) hay también yacimientos de importancia.

Se emplea el oro unido al cobre, que le presta dureza, para la fabricación de la moneda, cuya pasta debe estar formada, según una regla o *ley*, que en España y algunos otros países es, en 1.000 partes, de 900 de oro puro y 100 de cobre, con un permiso o tolerancia de 2 milésimas por exceso o por defecto, puesto que es su-

(1) Es muy fácil e interesante producir ejemplares analogos a los de esta localidad sumergiendo un fragmento de galena en una solución de nitrato de plata; al cabo de ocho o quince días comienzan a verse sobre la galena pequeñas dendritas de este metal, que van creciendo en los días sucesivos hasta llegar a la superficie del líquido, y continúan desarrollándose mientras existe plata disuelta. Las dendritas así producidas son muy bellas por su estructura y color blanco de plata purísimo.

(2) En España, durante 1907, se obtuvieron unos 127.000 Kg. de plata fina de varios minerales argentíferos, que representaron un valor de 14 millones de pesetas.

mamente difícil hacer la mezcla de ambos metales en una proporción uniforme. Para las alhajas, la ley es mucho más baja; es decir, que debe contener mayor cantidad de cobre o liga, con objeto de que resulte un metal más duro.

Platino. *Pt.*—Cristaliza en el sistema regular, pero sus cristales son sumamente raros; habitualmente se encuentra en granillos de aristas redondeadas, laminitas, pequeñas masas y, a veces, de más tamaño (*pepitas*). Es un metal muy dúctil y maleable; $d = 4$ a 5 ; $p = 17$ a 18 ; forjado, 21 ; color gris de acero, tirando a blanco de plata y brillo metálico.

Contiene hierro, por lo cual suele ser magnético, y pequeñas cantidades de metales raros (iridio, rodio, paladio, etc.), y a ello se debe que su densidad en estado natural sea mucho menor que cuando está purificado, como acabamos de decir. Es infusible, a no ser con el soplete oxhídrico, e insoluble en los ácidos, excepto el agua regia.

Se encuentra el platino en arenas sueltas con otros minerales en los montes Urales, donde también constituye venas en la serpentina; en el Chocó (Colombia), en cuya región descubrieron este metal los españoles en las arenas del río Pinto, cerca del Popayán, y lo llamaban *platina de Pinto*, trayéndolo a Europa en 1735 el sabio español D. Antonio Ulloa. Por la infusibilidad y la resistencia del platino para ser atacado por los ácidos, es insustituible en la construcción de vasijas, crisoles, hilos y pinzas para los ensayos químicos y para las puntas de los pararrayos. Por sus muchas aplicaciones y escasa abundancia, el platino alcanza un precio elevado, que va aumentando considerablemente cada día.

Otros elementos.—También se presentan en estado nativo, aunque con mucha escasez, el arsénico, el antimonio, el bismuto y el telurio, que cristalizan en el sistema exagonal, no son dúctiles y componen un grupo llamado por algunos de los *metales frágiles*.

CLASE II

Combinaciones del azufre, arsénico y antimonio con los demás cuerpos simples (1).

Los compuestos naturales que forman el azufre, el arsénico y el antimonio con los demás radicales simples son muy importantes por constituir los minerales metálicos por excelencia y las menas (2) de donde se obtienen tan preciosas substancias. La mayoría de estos compuestos presentan lustre metálico, color gris, y son, generalmente, minerales de filón.

(1) Prescindimos del estudio de las combinaciones del selenio, telurio y bismuto con los otros cuerpos simples que corresponden a esta clase, por su rareza y escasa o ninguna aplicación.

(2) Llámense *menas* a las substancias minerales o rocosas, sean o no puras, que contienen algún metal en cantidad suficiente y en condiciones favorables para ser explotado.

Es fácil reconocer en ellos la presencia del azufre, arsénico o antimonio. El primero, porque cuando se calientan estos minerales sobre el carbón o en el tubo abierto, desprenden gas sulfuroso, con su olor característico, y porque muchos de ellos producen ácido sulfhídrico, u olor a huevos podridos, si se los trata con ácido clorhídrico. Además, fundidos sobre el carbón con una mezcla de carbonato sódico y cianuro potásico al fuego de reducción, dan los sulfuros una masa pardo-negrucza (*hepar*) (pág. 108). El arsénico se distingue mediante el olor característico, llamado de ajos, que producen los minerales que le contienen al calentarlos sobre el carbón o en el tubo abierto; en éste forman, además, un sublimado blanco cristalino que, por ser volátil, se le puede pasear por el tubo y aun arrojarle de él, calentándole con el soplete. El antimonio no desprende olor, pero, en cambio, origina, sobre el carbón y lejos del sitio del ensayo, una aureola o ligero depósito gris azulado que se distingue bien de la ceniza, puesto que está situado en sitios, adonde no ha llegado la llama producida con el soplete; además, en el tubo abierto, los minerales antimoníferos dan un sublimado blanco de óxido de antimonio, que no es cristalino ni volátil, y que, por lo tanto, no cambia de lugar, aunque se le caliente, como el del arsénico.

Rejalgar, arsénico rojo.—Sulfido hipoarsenioso, $As^2 S^2$. Monosimétrico; se halla frecuentemente en masas compactas o fino-granulares, de color rojo y polvo anaranjado; transluciente; brillo resinoso; $d = 1,5$ a 2 ; $p = 3,5$; frágil. Soluble en el agua regia y la potasa cáustica (1); en el tubo cerrado se funde, volatiliza y produce un sublimado rojo transparente; en el tubo abierto despide olor de gas sulfuroso y forma un sublimado blanco cristalino y volátil de anhídrido arsenioso ($As^2 O^3$); sobre el carbón, mediante el soplete, arde con llama blanco-amarillenta, dando olores sulfuroso y arsenical. Acompaña al cinabrio (sulfuro de mercurio) en Pola de Lena y Mieres (Asturias), donde se explota al azufre volcánico, en varias localidades, y a la lava del Vesubio y de ciertos volcanes filipinos. Se usa en pirotecnia para fabricar las bengalas blancas.

Oropimente.—Sulfido arsenioso, $As^2 S^3$. Rómbico en pequeños cristales, pero, generalmente, aparece en masas laminares de color amarillo de oro; láminas muy flexibles, pero no elásticas, algo transparentes, de lustre craso; $d = 1,5$ a 2 ; $p = 3,4$ a $3,5$. Es soluble en la potasa cáustica y en el amoniaco; el ácido nítrico hirviendo le descompone y disuelve, dando por vía seca las mismas reacciones que el anterior. Se halla en los filones matalíferos de Hungría y otras localidades; abunda en el Kurdistán.

Antimonita, estibina, antimonio gris.—Sulfido antimonioso, $Sb^2 S^3$. Rómbico; en largos prismas (fig. 84), frecuentemente aciculares, en masas fibroso-laminares, con una exfoliación muy perfecta, o

(2) Como es sabido, los sulfidos tienen carácter ácido.

radiadas y aun compactas. Los cristales suelen hallarse estriados a lo largo y yacen sobre la antimonita en masa o sobre cuarzo. El color cambia de gris de plomo a gris de acero, a menudo irisado en la superficie; lustre metálico intenso, pero que se empaña prontamente al aire, volviéndose mate; $d = 2$; $p = 4,6$ a $4,7$. Se disuelve en el ácido clorhídrico hirviendo con desprendimiento de ácido sulfhídrico; es tan fusible, que se derrite a la llama de una bujía; en el tubo abierto da humos sulfurosos y antimoniales, condensándose estos últimos en la parte fría en un sublimado blanco fijo; en el carbón, mediante el soplete, funde extendiéndose y dando olor sulfuroso y aureola o depósito gris azulado alrededor del ensayo.

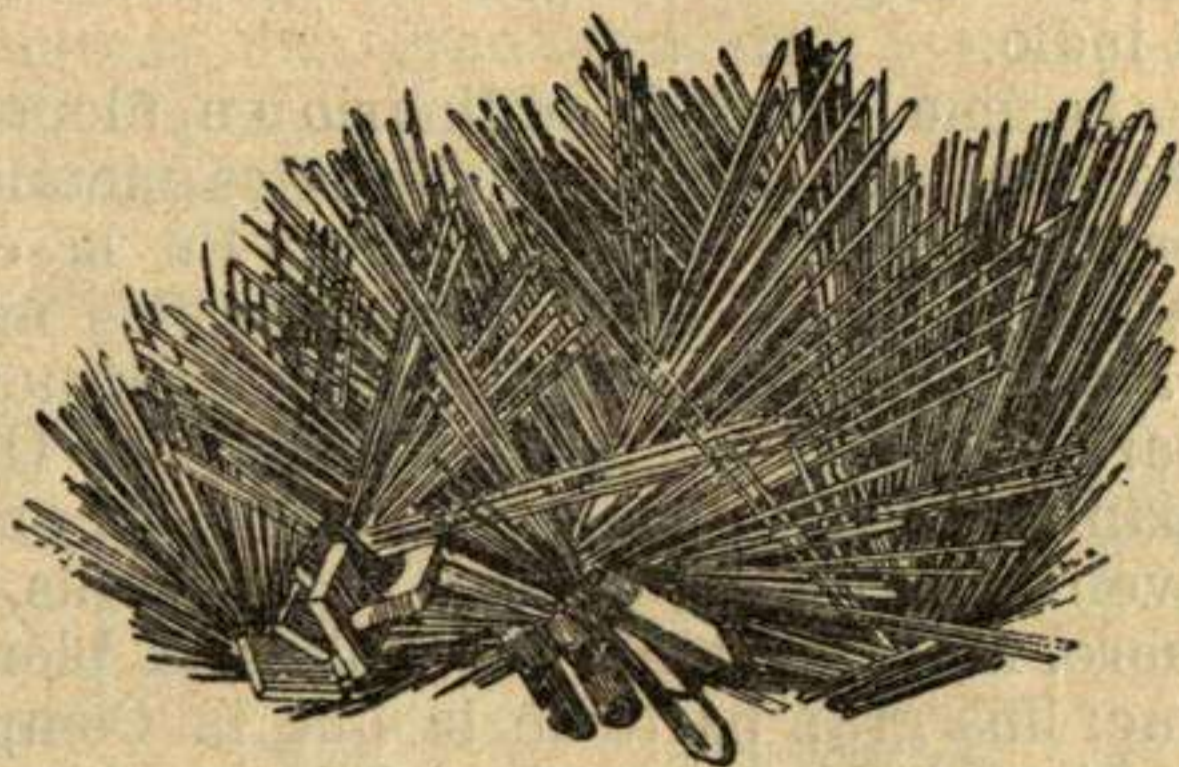


Fig. 84.

Se encuentra en filones asociado al cuarzo o a la baritina en granito, gneis, entre las pizarras antiguas o acompañando a otros minerales metálicos, como en Santa Cruz de Mudela y Viso del Marqués (Ciudad Real); Losacio (Zamora); en la provincia de Huelva y en el distrito de Oporto, en Portugal; en diversas localidades de Méjico, Perú, Chile y Bolivia; Hungría y el Japón proporcionan bellísimos ejemplares cristalizados.

Sirve este mineral para la preparación de compuestos antimoniales muy usados en medicina y para la extracción del antimonio, que, unido al plomo, constituye la aleación de que se hacen los caracteres de imprenta (1).

Blenda, esfalerita.—Sulfuro zincico, $Zn S$. Regular, siendo sus formas más frecuentes la combinación del rombododecaedro con uno o dos tetraedros o con un triaquistetraedro; exfoliación rombododecaédrica muy marcada, masas generalmente hojosas y a veces granulares, fibrosas o compactas; color variable, desde negro a amarillo claro de resina; polvo o raya de este último color y aspecto; opaca o transparente; lustre adamantino y también craso sobre las caras planas; $d = 3,5$ a 4 ; frágil; $p = 4$; fosforescente por frotamiento y piro-eléctrica. Se disuelve con lentitud en el ácido clorhídrico, desprendiendo sulfhídrico; con el soplete, sobre el carbón, es casi infusible y decrepita violentamente; pero mediante un vivo fuego de oxidación, desprende vapores sulfurosos

(1) Se produjeron en España, durante el año 1907, 205 toneladas de mineral de antimonio, que valieron 20.000 pesetas; pero el país es capaz de dar de sí cantidades de mucha mayor consideración, como sucedía cuando este metal se pagaba a mejores precios que en la actualidad.

y da una aureola de óxido de zinc amarilla en caliente y blanca en frío, que toma un hermoso color verde cuando se la calienta con una gota de solución de nitrato de cobalto. Casi todas las blendas, pero sobre todo las negras, son ferríferas, y muchas notables, por contener algunos metales raros, como el cadmio, el talio, el galio y el indio.

Se encuentra de ordinario en filones o bolsadas, acompañado casi siempre de otros minerales metálicos, especialmente de galena, de pirita y de siderita. En la caliza de Picos de Europa (Andara, Aliva), existen importantes minas, de donde se han extraído ejemplares notables por su estructura hojosa, color amarillo claro y transparencia; las blendas de Oyarzun (Guipúzcoa) y San Juan de Alcaraz son pardo-oscurecidas; en las minas del distrito de Aveiro (Portugal), las hay argentíferas asociadas a minerales de cobre, níquel y zinc. Se explota la blenda para la extracción del zinc; una gran parte de la que la Compañía Real Asturiana saca de Picos de Europa se beneficia en Arnao, al lado de Avilés (Asturias) (1).

Niquelita.—Arseniuro de níquel, $Ni As$. Cristaliza en el sistema exagonal; pero ordinariamente se presenta en masas compactas o granulares de fractura concoidea y desigual y color rojo de cobre claro, brillante en las superficies frescas; frecuentemente están cubiertos en algunos puntos los ejemplares de esta especie por unas costras térreas y de color verde claro, de arseniato de níquel, $d = 5,5$; $p = 7,4$ a $7,7$. La niquelita despide olor arsenical cuando se la golpea con el eslabón. Es soluble en el ácido nítrico concentrado, con separación de anhídrido arsenioso, y la disolución tiene color verde manzana; en el tubo cerrado no da arsénico, sino un sublimado blanco de $As^2 O^3$, lo mismo que en el abierto, mediante el soplete, sobre el carbón; desarrolla olor arsenical y se funde en un glóbulo metálico frágil. Es el mineral más esparcido e importante de níquel y del cual derivan gran parte de los otros del mismo metal, yendo casi siempre asociado a los de cobalto, plata y cobre. Se usa para la extracción de níquel, que hoy tiene gran empleo en la fabricación de metal blanco (plata Meneses) para el niquelado de objetos metálicos y acuñación, en algunos Estados, de monedas que contienen 1 de níquel por 3 de cobre.—Hermosas masas de este mineral se hallan en Bailén (Jaén), y lo hay también en Carratraca (Málaga) y en Güell y Gistain (Huesca).

Pirita.—Sulfuro de hierro, $Fe S^2$. Esta importante especie cristaliza en el sistema regular, siendo las formas más comunes los exaedros sencillos o combinados, como el cubo piramidado (figura 85), y los dodecaedros pentagonales, ya solos (fig. 86), ya unidos al exaedro (fig. 87), o maclados, constituyendo una cruz; a me-

(1) Los minerales de zinc aparecen reunidos en las mismas minas y no es posible hacer una estadística separada de cada uno. Así, en 1907 se arrancaron en España cerca de 200.000 toneladas de estos minerales, en su mayoría de las provincias de Murcia y Santander, valiendo 3.562.000 pesetas.

nudo surcan las caras estriás en direcciones rectangulares; suele presentarse la pirita en masas granudo-cristalinas, compactas, concrecionadas, etc.; lustre metálico; color amarillo de latón, característico; frágil y de fractura desigual y concoidea; polvo gris verdoso obscuro; $d = 6$ a $6,5$, dando muchas chispas con el eslabón, por asociarse a esta dureza una gran tenacidad; $p = 5$; termo-eléctrica.—Suele contener níquel, cobalto, talio y, con bastante frecuencia, oro esparcido mecánicamente por su masa; parte del

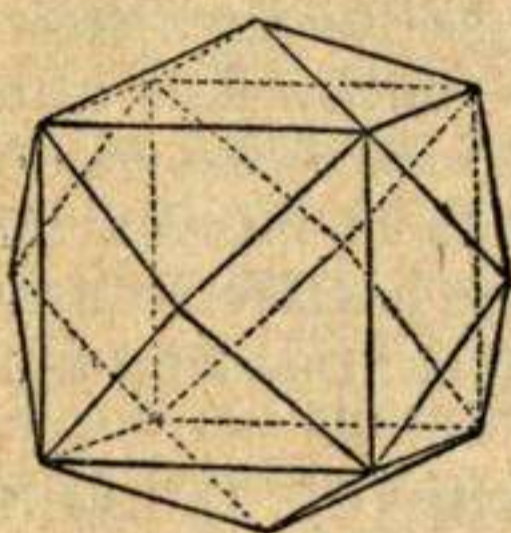


Fig. 85.

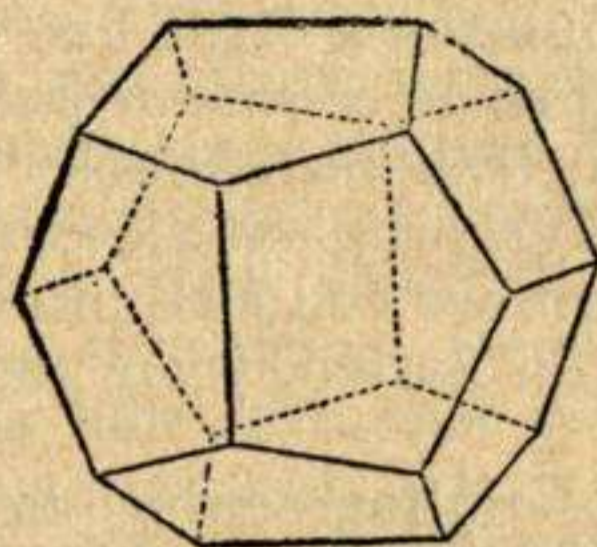


Fig. 86.

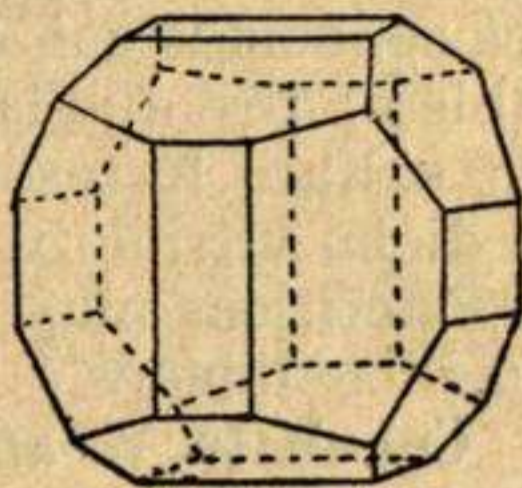


Fig. 87.

azufre que compone la pirita se halla sustituido a veces por el selenio. En el tubo cerrado da sublimado de azufre y un residuo magnético; al calentar la pirita da olor sulfuroso, y sobre el carbón, mediante el soplete, arde con una llamita azulada y deja el citado residuo; comunica al vidrio del bórax un color amarillo en caliente, que va desapareciendo cuando se enfría el ensayo, si se ha empleado pequeña cantidad, y rojo de sangre en caliente, amarillo rojizo en frío, si se pone mucha pirita. Es atacable por el ácido nítrico, con desprendimiento de hidrógeno sulfurado, y separación de azufre e inatacable por el clorhídrico. Al contacto del aire se altera.

Se presenta en masa, en filones, en cristales sueltos y nódulos esferoidales, que arman en rocas de todas las edades, y muchas veces, total o parcialmente, transformada en limonita, siendo entonces su color pardo.

La pirita es uno de los minerales más esparcidos en la corteza terrestre. La región de este sulfuro de la provincia de Huelva y Portugal constituye uno de los grandes centros metalíferos del mundo.

Se hallan cristales en Almadén (Ciudad Real), Priego, junto a Beteta (Cuenca), Egea (Logroño), Capileira (Sierra Nevada), Caravaca (Murcia), entre otras muchas localidades, y son notables por su hermosura los procedentes de las minas de Santiago de Cuba, y especialmente los que acompañan al hierro oligisto de la isla de Elba.

Empléase principalmente la pirita para la fabricación del ácido sulfúrico del comercio, y las variedades aurífera y cuprífera, para la extracción del oro y del cobre. A esta última variedad

pertenecen casi todos los minerales explotados como cupríferos en la zona minera de la provincia de Huelva y de Portugal (1). La pirita no se utiliza para la extracción del hierro porque le da de mala calidad y abundan más que ella otros minerales ferríferos excelentes.

El sulfuro de hierro $Fe S^2$ es dimorfo, pues, además de la *pirita*, existe en la Naturaleza la *marcasita*, llamada también *pirita blanca*, de la misma composición y propiedades químicas que aquélla, pero cristalizada en el sistema rómbico; con frecuencia se presenta en masas reniformes globulares u otras que originan las agrupaciones conocidas con el nombre de *crestas de gallo*. Es mucho más alterable el aire que la pirita, transformándose en *vitriolo verde*, es decir, sulfato ferroso, en cuya propiedad está fundada la fabricación de dicho vitriolo y del alumbre con este mineral. Se halla en masas estalactíticas muy bellas en Bailén, y en pequeña cantidad en muchas localidades.

Cobaltita, cobalto gris.—Sulfoarseniuro de cobalto (Co, Fe) $As S$. Regular, en dodecaedros pentagonales como la pirita, pero aparece más frecuentemente en masas granulares de color blanco de plata ligeramente rosada y con brillo metálico vivo; $d = 5,5$; $p = 6$ a $6,1$. En el tubo abierto, da gas sulfuroso, con algo de olor arsenical y un sublimado blanco, cristalino y volátil de anhídrido arsenioso ($As^2 O^3$); sobre el carbón, mediante el soplete, desprende olor sulfuroso y arsenical, fundiéndose en un glóbulo gris, debilmente magnético, que comunica al vidrio del bórax un hermoso color azul esmalte, característico del cobalto. Es soluble en el ácido nítrico caliente, separándose azufre esponjoso y un depósito blanco de $As^2 O^3$; la disolución tiene color de rosa.

Encuéntranse en Sajonia y Bohemia, y en nuestra Península, en Gistain (Huesca); asociado a minerales de plata, en Guadalcanal (Sevilla), y a otros metálicos, en Aveiro (Portugal). Se emplea en la fabricación de esmalte o azul cobalto y en la extracción del níquel que habitualmente contiene.

Esmaltita, cobalto arsenical, cobalto blanco.—Arseniuro de cobalto, casi siempre con hierro y níquel (Co, Fe, Ni) As^2 . Regular, en exaedros con octaedros; con más frecuencia constituye masas compactas de fractura granular y desigual o reticuladas, de color gris de acero o blanco de estaño; $d = 5,5$; $p = 6,4$ a $7,3$. Calentándola en un tubo cerrado da un sublimado gris metálico de arsénico, y en el abierto produce olor arsenical con algo de sulfuroso a veces y un sublimado blanco cristalino y volátil de anhídrido arsenioso ($As^2 O^3$); sobre el carbón, mediante el soplete, desprende un fuerte olor arsenical, fundiéndose en un glóbulo metálico gris, magnético. En el ácido nítrico caliente da una disolución de color de rosa.

(1) Sólo en la provincia de Huelva pasó de 3 millones de toneladas la pirita ferro-cobrizada extraída en 1907, que produjeron cerca de 65 millones de pesetas.

Se conoce la esmaltita asociada a la especie anterior y a la niquelita, en las mismas localidades que ellas. Por alteración se cubre de una costra térrea o acicular de color de rosa, de arseniato de cobalto o *eritrita*. Tiene las mismas aplicaciones que la cobaltita, abundando más que ella, si bien es menos pura y rica en cobalto.

Galena, alcohol de alfareros.—Sulfuro de plomo, $Pb S$. Regular, siendo los cristales más frecuentes la combinación del exaedro con el octaedro (fig. 88) y aun el octaedro o el exaedro solos; su estructura es hojosa o granulada-cristalina mas o menos fina, y a veces palmeada: exfoliación exaédrica muy fácil; brillo metálico intenso en las fracturas frescas, que se empañan al aire; color gris azulado de plomo, así como la raya; $d = 2,5$, frágil; $p = 7,3$ a $7,6$. Sobre el carbón y mediante el soplete decrepita, da olor sulfuroso y después funde en un glóbulo metálico gris y maleable de plomo, produciendo un abundante depósito de óxido de plomo en forma de aureola, amarilla en caliente y blanca en frío. Es atacable por el ácido nítrico, y la disolución da un precipitado blanco con el sulfúrico. Estos caracteres distinguen bien la galena de la antimonita, con la cual presenta a veces mucha analogía, por su aspecto y modo de yacer. Con frecuencia es argentífera, sobre todo las variedades finamente granulares.

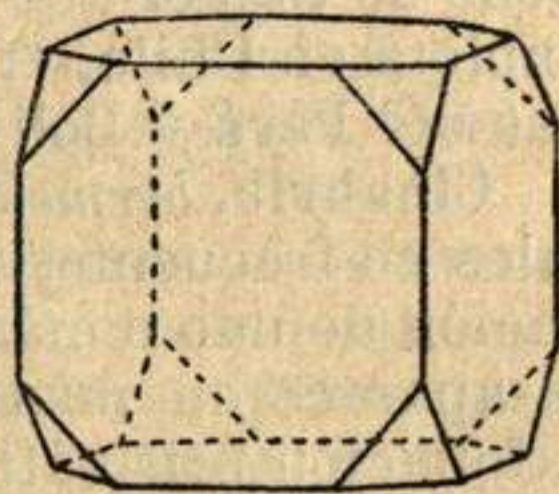


Fig. 88.

Abunda la galena extraordinariamente bajo forma de vetas, capas o masas irregulares en rocas de todas edades, pero rara vez se presenta sola, sino asociada a blenda, piritita, calcopiritita, etc.; se halla cristalizada en Pulpí (Jaravia, Almería), Zarza-Capilla (Badajoz), Bailén y otras muchas minas de España y del Extranjero, donde se explotan filones de galenas hojosas y granudas, siendo particularmente importantes los yacimientos de Linares, Sierra Almagrera y Sierra de Gádor, en los cuales son con frecuencia argentíferas (1). En Portugal figuran entre las regiones plomizas más importantes las cupro-plomizas de las márgenes del río Caima (Aveiro). En Chile, Perú y Bolivia existen innumerables vetas de galena.

Es el mineral más importante para la extracción del plomo; además, la mayor parte de la plata que está en circulación procede del beneficio de las galenas argentíferas. El polvo sirve para barnizar las vasijas de barro ordinario, pues se oxida y vitrifica con él mediante el calor del horno, y de aquí su nombre vulgar de *alcohol de alfareros*.

Argentita, plomo ronco, negrilla.—Sulfuro de plata, $Ag^2 S$. Regular, ordinariamente en exaedros agrupados en dendritas, masas compactas de color gris de plomo o negro; brillo metálico escaso;

(1) En 1907, produjo España 113.632 toneladas de mineral de plomo, que valieron 23.214.000 pesetas, y de plomo argentífero, 165.000, que valieron 35.100.000 a bocamina.

$d = 2$ a $2,5$; raya negra; se corta fácilmente en virutas flexibles y maleables; $p = 7$ a $7,4$. Calentado sobre el carbón mediante el soplete, se funde hinchándose, emitiendo humos sulfurosos y dejando, por último, un glóbulo de plata. Es soluble en el ácido nítrico, separándose el azufre bajo forma esponjosa; la disolución da un precipitado blanco, como de leche cortada, cuando se le añade ácido clorhídrico o una solución de sal común.

Es uno de los minerales de plata más importantes, porque contiene un 87 por 100 de este metal. En cantidades considerables se explota en Chile, en Méjico (San Pedro del Potosí, etc.), en las minas del Perú y Bolivia, pero es mucho más raro en Europa.

Cinabrio, bermellón.—Sulfuro de mercurio, $Hg S$. Exagonal; cristales no frecuentes, de lustre adamantino, formados por la combinación de uno o más romboedros, un prisma y la base; generalmente aparece en masas de estructura compacta, granular o térrea; exfoliación prismática muy fácil; color rojo cochinilla característico, polvo rojo bermellón; los cristales son translucientes; $d = 2$ a $2,5$; $p = 8$ a $8,2$. En el tubo cerrado da un sublimado negro de $Hg S$; en el abierto, gas sulfuroso y un sublimado gris metálico formado de gotitas de azogue; en el carbón se volatiliza completamente, si es puro, carácter que, unido al color rojo bermellón de su polvo, basta para hacer reconocer este mineral.

El yacimiento más importante de cinabrio, que es la mena del mercurio, son los filones de Almadén y Almadenejos (Ciudad Real), que están explotándose por lo menos desde el tiempo de los romanos, siendo una de las mayores riquezas mineras de Europa; también se halla en la provincia de Granada y en Mieres del Camino (Asturias), con rejalgar. Existe en Huancavelica (Perú) y en las provincias de Atacama y Coquimbo en Chile, pero las minas de cinabrio más ricas de América son las de California, y especialmente la denominada Nuevo Almadén.

Calcopirita, pirita de cobre, bronce amarillo, bronce candelero.—Sulfuro de cobre y hierro, $Cu^2 S, Fe^2 S^3$. Tetragonal en cristales casi siempre tetraédricos; ordinariamente en masas compactas, de fractura concoidea o desigual; color amarillo de oro, y con frecuencia adornada de brillantes irisaciones superficiales; brillo metálico; raya y polvo negro grisáceo verdoso; $p = 4,1$ a $4,3$; no da chispas con el eslabón, en lo que se distingue fácilmente de la pirita, a la cual se parece mucho cuando se halla en masa; $d = 3,5$ a 4 . En el tubo cerrado decrepita y da sublimado de azufre; en el abierto produce gas sulfuroso y funde con proyecciones en un glóbulo magnético que colora de azul la llama del soplete cuando se le humedece con ácido clorhídrico, y tiñe de azul el vidrio del bórax. La calcopirita da una disolución verde con el ácido nítrico, dejando una esponja elástica y flotante de azufre.

Es el mineral de cobre más abundante, aunque no el mejor para el beneficio de este metal, y forma depósitos y filones asociado a otros sulfuros metálicos. Donde sufre la acción atmosférica y

acuosa se transforma en *vitriolos*, o sea sulfatos de cobre y hierro, que son solubles, y el agua meteórica los va acarreando.

En nuestra Península existe la calcopirita en filones y mezclada con las masas enormes de piritita, casi siempre cuprífera, que se extienden por la provincia de Huelva (Riotinto, La Poderosa, Tharsis), por la mina de San Domingos, ya en Portugal, y en el Alemtejo, constituyendo uno de los centros principales de explotación del cobre que existen en el mundo. Juega esta especie un papel predominante en los yacimientos cupríferos de Santiago de Cuba (Nuestra Señora del Cobre) y en Chile (minas de Carrizal y San Juan en el Huasco, Tambillos, etc.), así como en Bolivia, Perú y provincias argentinas.

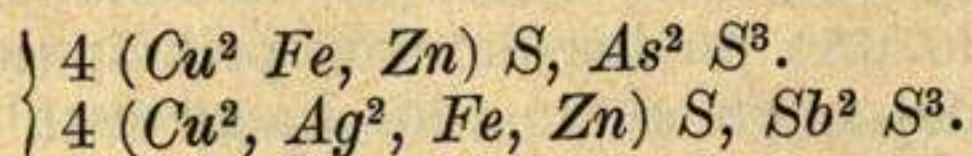
Freieslebenita, *plata estriada*, *plata agria* (en parte).—Sulfoantimonio de plomo y plata, $5 (Pb, Ag^2) S, 2 Sb^2 S^3$. Sus cristales son monosimétricos, profundamente acanalados a lo largo, y sus masas son granulares y compactas, de color gris de acero claro, tirando a blanco de plata o a gris de plomo negruzco; lustre metálico; raya gris; $d = 2$ a $2,5$; $p = 6$ a $6,4$; en el tubo abierto da humos sulfurosos y antimoniales, y mediante el soplete, las aureolas de los óxidos de antimonio y de plomo, dejando un glóbulo de plata. Esta especie es muy poco frecuente, a excepción de Hiendelaencina, donde se han encontrado abundantes y bellos ejemplares cristalizados; se explota para la extracción de la plata.

Proustita, *rosicler claro*, *plata roja clara*.—Sulfoarsenito de plata, $3 Ag^2 S, As^2 S^3$. Exagonal, prismas con escalenoedros y romboedros; color rojo grosella vivo, translúcida, brillo adamantino; polvo rojo bermellón; $d = 2$ a $2,5$; $p = 5,5$ a $5,6$. Mediante el soplete funde fácilmente sobre el carbón, dando humos arsenicales y sulfurosos y un glóbulo metálico, gris, frágil, que por una acción prolongada del fuego de reducción con el carbonato de sosa deja un botoncito de plata. Es atacable por el ácido nítrico, con separación de azufre y anhídrido arsenioso. Se asocia a los otros minerales de plata en los filones argentíferos de Chile y el Perú.

Pirargirita, *rosicler obscuro*, *plata roja obscura*.—Sulfoantimonio de plata, $3 Ag^2 S, Sb^2 S^3$. Exagonal; los cristales son prismas con romboedros y escalenoedros; pero generalmente se presenta en masa compacta, de fractura concoidea; color gris negro de hierro, con reflejos rojos y polvo rojo cochinilla, así como la raya; lustre adamantino; $d = 2$ a $2,5$; $p = 5,75$ a $5,85$. En el tubo cerrado decrepita, funde fácilmente dando un sublimado rojo pardusco de $Sb^2 S^3$, que en el carbón da humos y aureola de antimonio y un glóbulo gris metálico, que, vuelto a fundir con sosa, deja un botón de plata. La pirargirita es atacada por el ácido nítrico, con depósito blanco de óxido de antimonio. Es uno de los minerales más comunes en los filones de plata, y existe en España en Guadalcanal (Sevilla) y en Hiendelaencina, donde se han hallado hermosos cristales de él. En América, algunas minas de Chile han dado millones de pesos, obtenidos de esta especie casi pura. La hay cristalizada en Bolivia, Mé-

jico, Perú y República Argentina. Esta, como las anteriores especies, en cuya composición entra la plata, se destinan a la extracción de dicho metal.

Tetraedritas, cobres grises tetraédricos.—Sulfoarsenitos y sulfoantimonitos de cobre, hierro, zinc y plata.



Minerales regulares, en tetraedros sencillos (fig. 89) o combinados (figura 90) y piramidados, y, sobre todo, en masas granudas de fractura irregular; gris de hierro, o gris de acero; $d = 3$ a 4 en los antimoniales, 4 en los arsenicales; $p = 4,5$ a 5 en los arsenicales y

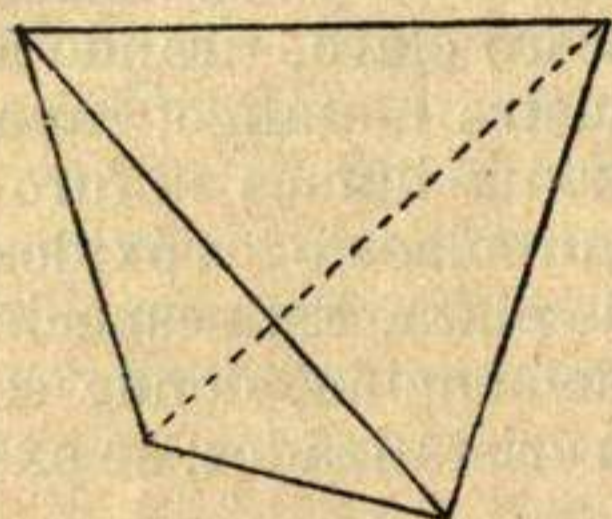


Fig. 89.

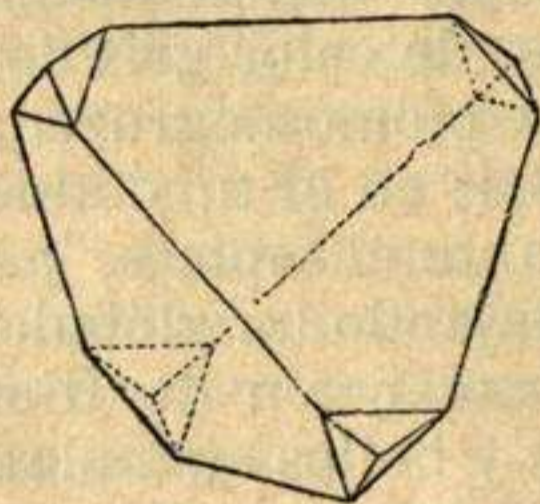


Fig. 90.

alguno mayor en los antimoniales. Son solubles en el ácido nítrico, dando las segundas un precipitado blanco de ácido antimonioso. Se distinguen entre sí mediante el soplete, porque las unas dan las reacciones del arsénico y las otras las del antimonio, y to-

das ellas las de cobre, hierro y zinc; algunas ofrecen, además, las de la plata y el mercurio. Yacen las tetraedritas en filones acompañadas de otras especies de cobre, siderita, etc. Se hallan cristalizadas en Torrecampo (Córdoba), Güéjar Sierra (Sierra Nevada), con sideritas, etc., y en masa en muchas otras localidades. Abundan en Hungría y en América, especialmente en Chile, sirviendo para la extracción del cobre y de la plata, porque contienen un 40 por 100 del primero, y, a veces, hasta un 17 por 100 de la segunda, si bien el tratamiento metalúrgico es bastante difícil.

CLASE III

Óxidos.

Esta clase comprende los óxidos sencillos, los hidróxidos y ciertos compuestos derivados de ellos. La mayoría de los órdenes en que se divide, cuyos nombres omitimos por brevedad, están formados por óxidos e hidróxidos de metales pesados.

Agua. — Es el agua un compuesto de oxígeno e hidrógeno, en proporción de dos volúmenes del segundo por uno del primero, $H^2 O$. Se presenta en la Naturaleza en sus tres estados, como ya hemos tenido ocasión de ver en la Geología dinámica.

1.º En estado gaseoso se desprende de la superficie de las masas líquidas, del suelo por evaporación del agua de lluvia y de los volcanes activos, interponiéndose en el aire, del cual forma más de una centésima parte.

2.º En estado líquido el agua es incolora cuando pura, al menos en pequeñas masas, sin olor ni sabor y muy absorbente de los rayos solares. Se toma como tipo del peso específico, a $+ 4^{\circ}$ C., que es cuando tiene su densidad máxima.

El agua meteórica, procedente de la lluvia o del derretimiento de la nieve, es casi pura; pero las del mar (pág. 26), los lagos, ríos y manantiales (páginas 31 y 44) disuelven diferentes cuerpos. Según sean éstos, las fuentes se clasifican en varios grupos: así, por los gases disueltos se las denomina *carbónicas*, *acidulas* o *agrias*, de que ya hemos tratado (pág. 62), cuando les da carácter el ácido carbónico; *sulfurosas*, aunque impropiamente, a las que contienen ácido sulfhídrico, por lo que huelen a huevos podridos, como las de Alhama, Archena, Ledesma, El Molar, Ontaneda, etc.; por las materias salinas que las mineralizan, se dicen *saladas* o *cloruradas*, cuando predomina la sal común, como las de Cestona, Arnedillo, Trillo, etc.; *muriatadas*, si a ésta se asocia el cloruro potásico; *alcalinas*, por el carbonato de sodio y de potasio; *calcáreas*, merced al carbonato de cal o de magnesia; *salinas*, a las ricas en sulfatos de sodio y de potasio, y, en fin, otras como las *amargas*, o con sulfato magnésico, las *selenitosas* o *yesosas*, las *ferruginosas*, como las de Lanjarón, Villatoya, etc., las *silíceas*, etc.

Atendiendo a su temperatura, se dividen las fuentes en *frías* y *termales*, dándose este último nombre a las que manan más calientes que la atmósfera; pero particularmente desde 25° hasta elevadas temperaturas (pág. 56).

El grado de su pureza influye principalmente en que unas aguas pueden usarse como bebida y otras no; llamándose *potables* a las primeras, y *no potables* o *crudas*, a las segundas. Son potables las que reúnen las condiciones siguientes: llevar aire disuelto, no tener mal gusto, disolver el jabón, cocer bien las legumbres y dar escaso precipitado con el oxalato amónico o con el nitrato de barita (1).

3.º En estado sólido el agua cristaliza en el sistema exagonal. Cuando la solidificación se verifica en las altas regiones de la atmósfera, se produce la *nieve*, que es una agrupación de pequeños cristales simples o maclados con regularidad y reunidos ordinariamente en preciosas estrellas de seis radios que se representan en las obras de Física. El agua que se solidifica en la superficie del suelo da lugar al *hielo*, el cual es compacto; pero sometido a la acción de un cono de rayos solares, desarrolla en su interior figuras

(1) Para que el agua reúna condiciones higiénicas como bebida, es preciso, además, que no contenga un exceso de materia orgánica, y, sobre todo, de gérmenes patógenos, que son los causantes de casi todas las enfermedades epidémicas. El medio más sencillo de purificarla de estos gérmenes es hervirla durante un cuarto de hora.

de fusión de contorno exagonal. Cuando el agua se hiela aumenta de volumen $\frac{1}{11}$, se hace un poco menos densa que la líquida y se reúnen de trecho en trecho, en forma de inclusiones, el aire y otras materias que contenía en disolución.—Tiene el hielo una dureza de 1,5, fractura concoidea y lustre vítreo.

Se presenta el agua sólida afectando estructuras bastante diversas y que han recibido denominaciones especiales. Así, la *nieve* es un agregado poroso de cristales blancos; el *hielo de las masas líquidas* que se congela en invierno consiste en una trama de agujas y llega a adquirir un espesor de 6 a 10 m. en los mares polares, y el *hielo de los glaciares* es una verdadera roca de estructura cristalina, constituida por gránulos de hielo cimentados por agua helada también (pág. 47).

Cuarzo.—Anhidrido silícico, $Si O^2$. Exagonal; los cristales más perfectos son prismas exagonales apuntados por dos pirámides (figura 91), a veces falta el prisma y se unen las dos pirámides por sus bases (fig. 92);

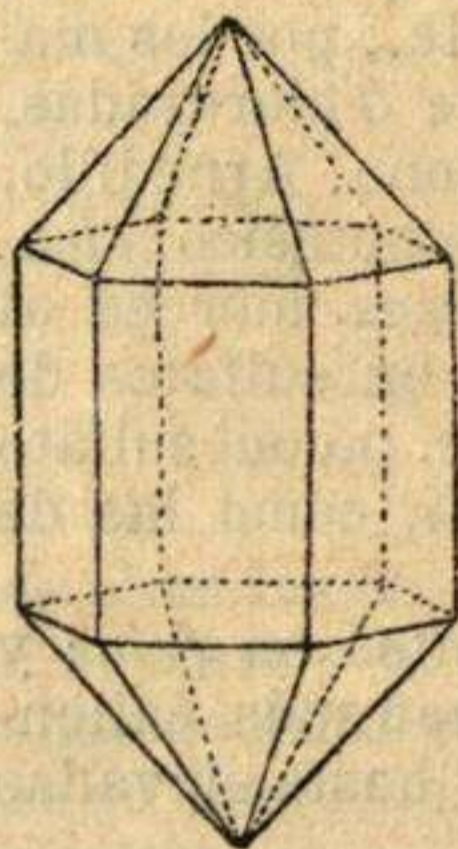


Fig. 91.

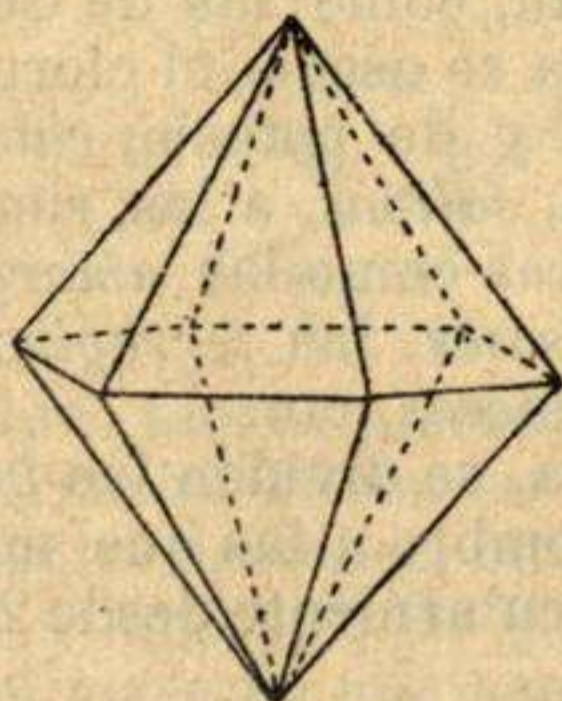


Fig. 92.

pero casi todos los cristales de cuarzo están deformados en uno u otro sentido, y son el resultado de maclas. Las caras están surcadas ordinariamente al través por numerosas estrias. Frecuentemente contiene el cuarzo incluidos, sobre todo al estado microscópico, diferentes minerales (clorita, turmalina, rutilo, hierro oligisto, etc., materias carbonosas, agua o disoluciones

de sal común sobre todo, anhídrido carbónico líquido, carburos de hidrógeno y gases). El cuarzo es uniáxico y presenta lustre vítreo, fractura concoidea, aun en los ejemplares cristalizados, y desigual en los que son agregados: $d = 7$; $p = 2,5$ a $2,8$. Infusible, no siendo con el soplete oxhídrico (1), e inatacable por los ácidos, excepto el fluorhídrico. La sosa le ataca fácilmente, dando un vidrio cuando se funde con ella. Observado con el microscopio en secciones muy delgadas, aparece vítreo, de notable diafanidad, sin grietas ni exfoliaciones y con inclusiones gaseosas y líquidas.

El cuarzo puede presentarse tanto en cristales como en masas de estructura cristalina; de aquí la división de sus variedades en las dos series que vamos a indicar.

Variedades fanerocristalinas: cuando el cuarzo cristalizado no

(1) Gaudin lo fundió así, obteniendo un líquido viscoso que se podía estirar en hilos como el vidrio; hoy se construyen para los laboratorios químicos vasijas y aparatos de cuarzo fundido, que ofrecen gran resistencia a los ácidos y a las temperaturas elevadas.

contiene impurezas, es incoloro, diáfano y se llama *hialino* o *crystal de roca* (fig. 93); si encierra materias carbonosas que le dan color pardo o negro, *cuarzo ahumado*; si es violado, a causa del manganeso o materias orgánicas, *amatista*; si amarillo, *falso topacio* o *topacio de Hinojosa*; si rojo de sangre, debido a la interposición de arcilla ferruginosa roja, *cuarzo hematoideo* o *jacinto de Compostela*; *cuarzo rosado* y *prasio*, cuando ofrece un color rosa, o verde, respectivamente; *ojo de gato*, si está penetrado de fibras de amianto, a las cuales debe un reflejo particular, y *venturina*, cuando aprisiona laminillas de mica que brillan dentro del cuarzo en ciertas incidencias de luz. El que constituye filones está frecuentemente lleno de innumerables inclusiones pequeñísimas que le dan aspecto lechoso, *cuarzo lácteo*.

Variedades criptocristalinas: entre éstas, mencionaremos las siguientes:

1.^a *Calcedonia*, sílice transluciente, de lustre céreo y formas concrecionadas, que está constituida por fibras microscópicas, las cuales difieren entre sí por sus propiedades ópticas. Estas fibras se entrecruzan irregularmente o se disponen en zonas concéntricas. Los distintos colores que presentan las calcedonias han dado lugar a denominaciones particulares: así se llama *cornalina*, a la roja; *sardónice*, a la parda, con coloración roja de sangre vista por refracción; *plasma*, a la verde oscura; *jaspé sanguíneo* o *heliotropo*, a la que presenta una pasta verde, de la cual destacan manchas rojas; *crisoprása*, a la de color verde manzana, etc.

2.^a *Agata*, que es una calcedonia de coloración intensa, ordinariamente con bandas o geodas de amatista (fig. 94) o de cuarzo hialino. Según sus colores y la disposición que éstos guardan, recibe nombres particulares, como los de *musgosa*, *dendrítica*, etc., siendo entre ellas las más apreciadas las llamadas *ónices*, por sus colores intensos y la regularidad y el espesor de sus capas, circunstancias que las hacen muy abonadas para la fabricación de camafeos.

3.^a *Sílex*, cuarzo criptocristalino transluciente en los bordes y de fractura concoidea, bajo cuya denominación se incluyen el *pedernal* o *piedra de chispa* (*sílex pirómico*), la *piedra de molino* o *sílex molar*, el *sílex córneo*, el que fosiliza las maderas petrificadas de muchas localidades, etc.

4.^a *Jaspe*, arcilla endurecida sobresaturada de sílice, opaca has-

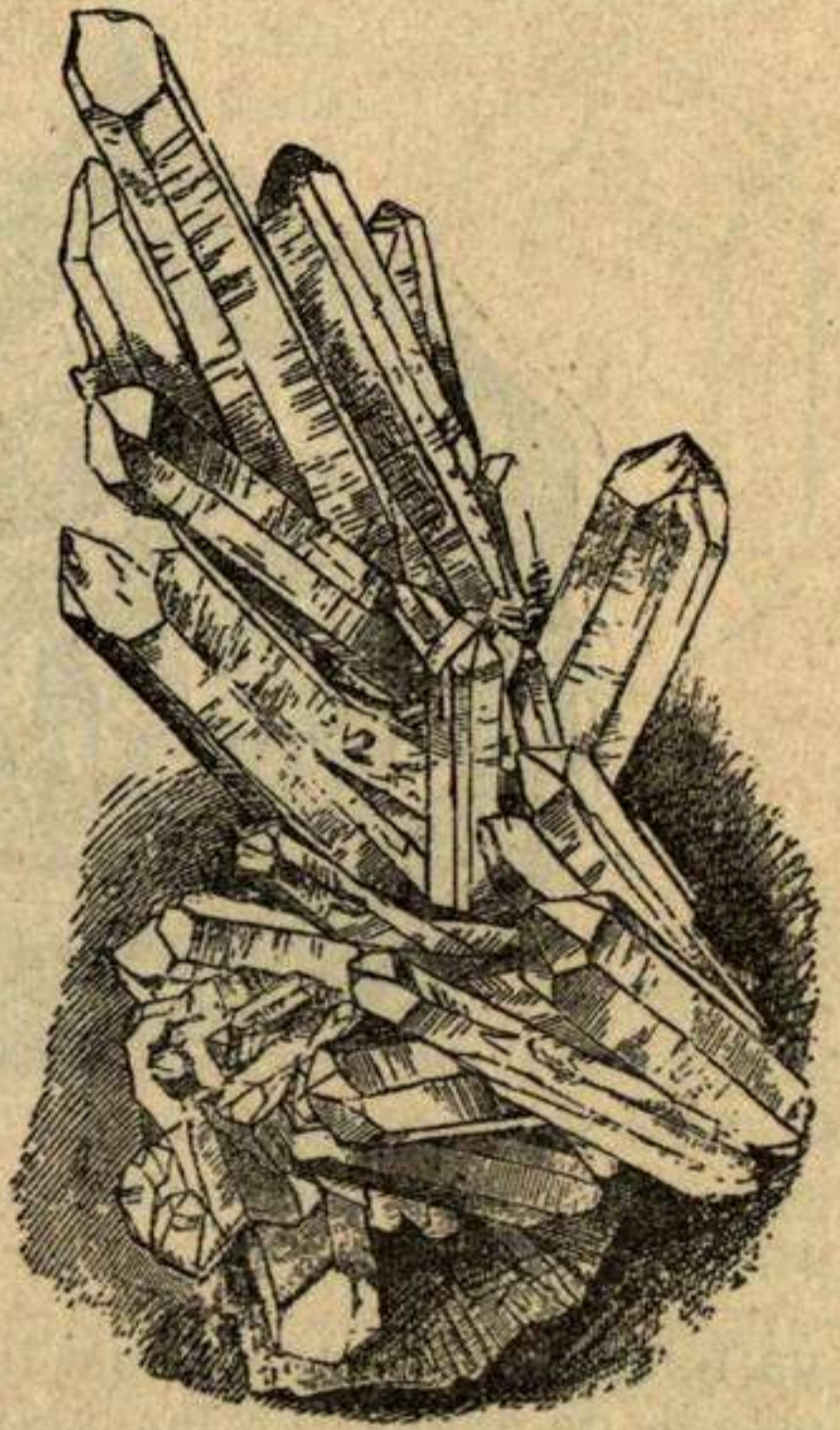


Fig. 93.—Cristales de cuarzo hialino.

ta en los bordes y de estructura muy compacta. Con este nombre suele confundir el vulgo algunos mármoles, pero es bien fácil distinguirlos de los verdaderos jaspes por ser los primeros más blandos y atacables por los ácidos. Entre los segundos figuran, además de los que sirven para la ornamentación, como el jaspe de *Egipto*, la *piedra de Lidia* o *lidita*, de color negro, llamada también *piedra de toque*, por el uso que de ella hacen los plateros para ensayar las aleaciones e imitaciones de oro.

Se halla el cuarzo en todas las edades y terrenos, ya en filones,

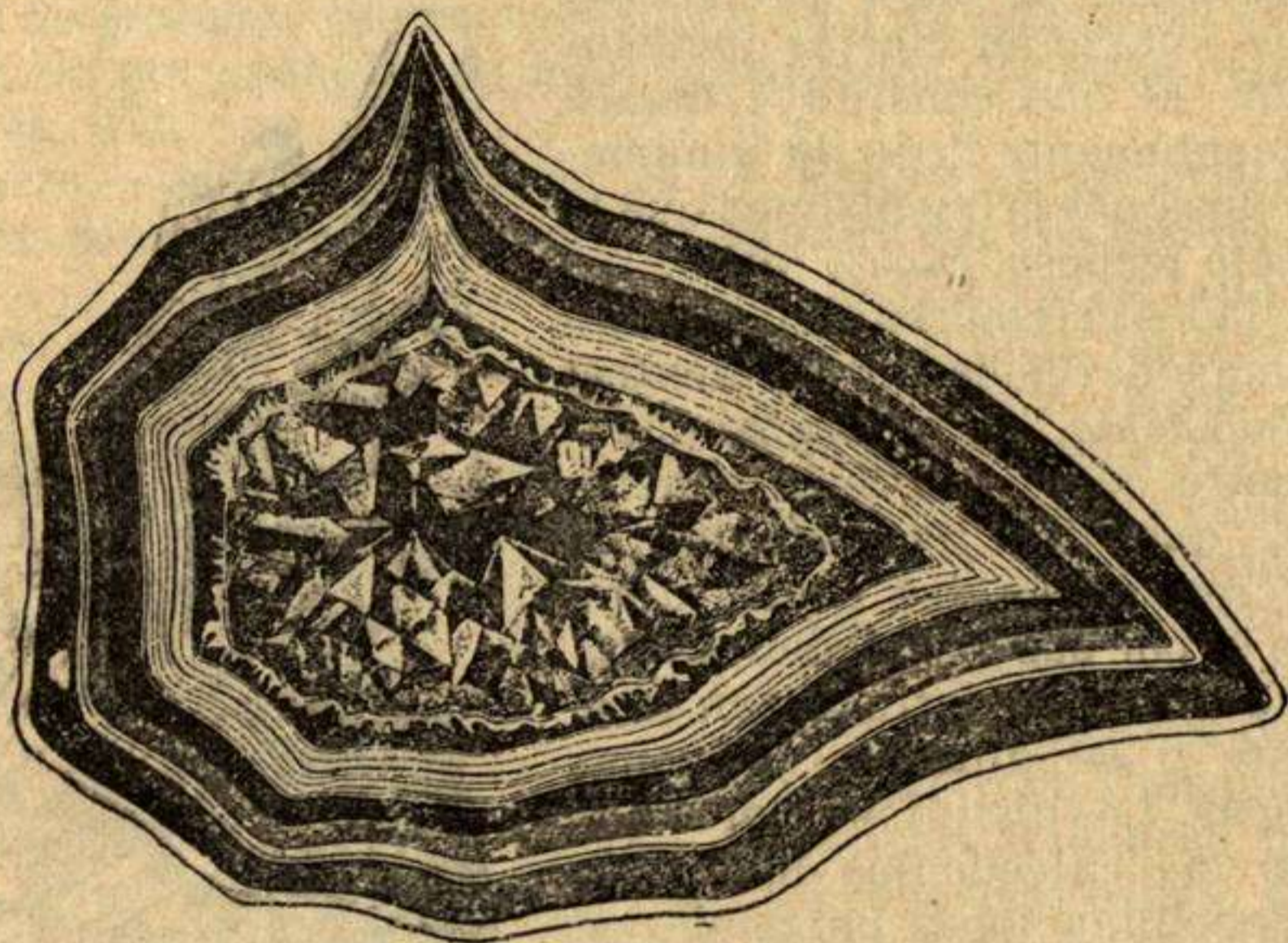


Fig. 94.— Geoda de ágata con cristales de amatista.

ya formando parte de casi todas las rocas antiguas y, sobre todo, en estado de arena, en las playas, ríos y tierras arables, siendo él y la caliza los dos minerales que predominan en la corteza del globo.

El cristal de roca se usa en la fabricación de lentes, y así como otras variedades cristalizadas, calcedonias y ágatas, se emplean en joyería, y las últimas, en Química, para hacer morteros, por su dureza; los jaspes, en la ornamentación, y el pedernal, en la construcción de pavimentos, etc.

Siendo innumerables las localidades en que existen variedades de esta especie, nos limitaremos a citar algunas de las españolas.

El *cristal de roca* se halla en La Cabrera, Buitrago, Horcajuelo, Miraflores de la Sierra, desmontes de San Isidro (rodado, constituyendo los llamados *diamantes de San Isidro*), en Madrid; el *cuarzo ahumado*, en Caldas de Oviedo y Verbis (Asturias), Bustarviejo (Madrid); el *falso topacio* o *topacio de Hinojosa*, en Villasbuenas e Hinojosa de Duero (Salamanca), donde se explota; los *jacintos de Compostela* en cristales muy perfectos, en Buñol (Valencia), Imón, Molina de Aragón y muchos otros puntos entre las arcillas

abigarradas de las provincias de Guadalajara, Soria y Zaragoza; el *cuarzo rosado*, muy bello, en Lanzahita y el Cerro Blanco, cerca de Ramacastañas (Avila) y en la provincia de Cáceres; la *amatista*, en Vich (Cataluña); el *cuarzo azul*, en Arenas, junto a Alhama de Granada; el *jaspe*, en el cabo de Gata y provincia de Murcia; la *calcedonia*, en el cerro de Almodóvar, en Vallecas, y en el de los Angeles, en Getafe (Madrid); el *pedernal*, en Vicálvaro (Madrid), Loja (Granada), Muela (Zaragoza), Cabañas (Toledo), etc., y el *sílex mollar*, en Ocaña (Toledo).

Rutilo.—Anhidrido titánico, $Ti O_2$. Tetragonal; casi siempre cristalizado y maclado; pardo rojizo con destellos vivos, de donde toma su nombre; $d = 6$ a $6,5$; $p = 4,2$ a $4,3$. Infusible e inatacable por los ácidos; con la sal de fósforo da una perla incolora, que en el fuego de reducción toma color violeta por enfriamiento, y pardo amarillento o rojo fuerte si el mineral contiene mucho hierro. Se halla asociado al cuarzo y, generalmente, penetrándole en terrenos antiguos, como en Horcajuelo (Madrid), donde le llaman *barretas*.

Zircón.—Anhidrido zircónico-silícico, $Zr Si O_4$. Tetragonal; en prismas cuadrados combinados con pirámides (fig. 95); pardo-rojos, amarillos o grises (*jargón* de Ceilán); brillo adamantino y frecuentemente vítreo; $d = 7,5$; $p = 4,4$ a $4,7$. Infusible al soplete; difícilmente atacable, y esto cuando está reducido a polvo, por el ácido sulfúrico hirviendo. El jargón, y sobre todo la variedad roja transparente que lleva el nombre de *jacinto*, se usa en joyería; la segunda se encuentra en rocas volcánicas de ciertas localidades. Las variedades opacas, amarillento-rojizas, forman parte de algunos granitos en Noruega. El microscopio demuestra que en mayor o menor abundancia existe diseminado el zircón en gran número de rocas.

Casiterita.—Anhidrido estánnico, $Sn O_2$. Es tetragonal y se presenta en cristales formados por uno o dos prismas cuadrados con una o más pirámides; frecuentemente están maclados por la cara de una de éstas (*pico de estaño*, fig. 96). Su color varía desde el negro, pardo rojizo, pardo amarillento, al amarillento y gris, merced a interposiciones, sobre todo de óxido de hierro; brillo adamantino o craso; $d = 6$ a 7 ; $p = 6,8$ a 7 . Es inatacable por los ácidos; sólo se funde sobre el carbón al fuego de reducción con una mezcla de sosa y cianuro potásico, y entonces deja en la masa pajitas brillantes de estaño.

Se halla en filones de cuarzo de los terrenos antiguos o en las arenas de los aluviones y ríos que proceden del desecho de aquéllos, como ocurre en varios de la provincia de Salamanca (1) y en los distritos colindantes de Portugal. En el Extranjero, las loca-

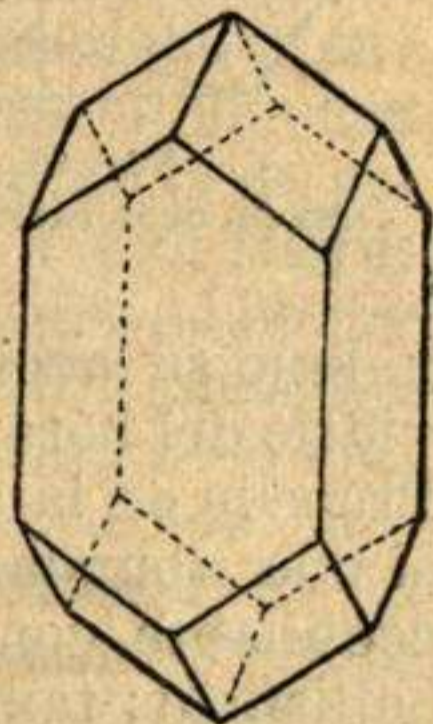


Fig. 95.

(1) La extracción del estaño se hallaba en 1907 reducida en España a 316 toneladas; pero esta industria, que alcanzó mayor apogeo en tiempos antiguos, recobrará, sin duda, su importancia en adelante en nuestro país.

lidades de este mineral más importantes son: Cornuailles, en Inglaterra, Sajonia y Bolivia. La casiterita es la verdadera mena del estaño, metal de importantísimas aplicaciones, y su conocimiento se remonta a los tiempos prehistóricos; aleado con el cobre, forma el bronce de campanas.

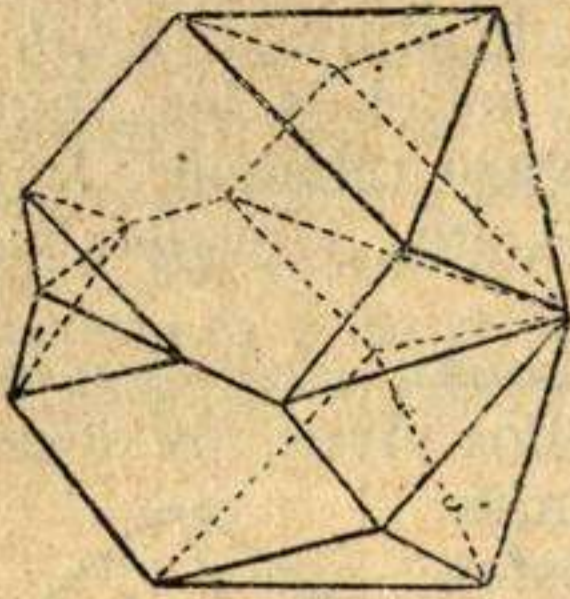


Fig. 96.
Macla de la casiterita.

Pirolusita, manganesa negra, jabón de vidrieros. — Bióxido de manganeso, $Mn O^2$. En prismas cortos estriados a lo largo, tetragonales, según Groth, pero, ordinariamente, en masas aciculares, fibroso-radiadas, concrecionadas, compactas; de color pardo negruzco de hierro o gris de acero oscuro; raya y tiznadura negras; los cristales tienen brillo metálico o casi metálico, y son frágiles; $d = 2$ a 2,5; $p = 4,7$ a 5. Es infusible con el soplete,

y bajo su acción pardea y pierde oxígeno, tiñendo de violado el vidrio del bórax; con el ácido clorhídrico hirviendo desprende cloro. Procede de la alteración de otros minerales de manganeso, siendo el más abundante de ellos. La provincia de Huelva, en la región confinante con Portugal, es rica en manganesas concrecionadas bellísimas; también existen en las provincias de Murcia, Asturias, Teruel y en el Bajo Alemtejo, en Portugal. Se usa la pirolusita para preparar el cloro, quitar el color a la pasta del vidrio, y de aquí el nombre vulgar de *jabón de vidrieros*, o poniendo en la pasta mayor cantidad para teñirlo de violado; pero el principal consumo de este mineral se hace en la preparación del cloro y del hipoclorito cálcico (cloruro de cal, polvos de gas), empleado en el blanqueo de telas y de la pasta de papel, como desinfectante; hoy día se gastan también grandes cantidades de pirolusita en la obtención de un acero manganesífero más duro que el ordinario (1).

Corindon.—Oxido aluminico anhidro, $Al^2 O^3$. Exagonal; en romboedros o prismas exagonales combinadas con romboedros y escalenoedros; fractura concoidea o irregular y brillo vítreo, nacarado. Es el mineral más duro después del diamante, estando representada su dureza por 9; su densidad es próximamente de 4. Ofrece diversas coloraciones que dan lugar a piedras altamente estimadas en joyería y designadas con nombres especiales, pudiendo ser incoloro (*telesia*), azul (*zafiro*), rojo, amarillo, verde, violado (*rubí*, *topacio*, *esmeralda*, *amatista orientales*); hay variedades bastas en masas hojosas (*espato adamantino*) y granulares y de color gris (*esmeril*). Es infusible e inatacable por los ácidos; pulverizado y enrojecido fuertemente con una gota de solución de nitrato de cobalto, toma por enfriamiento un bello color azul.

(1) En España se arrancaron en 1898 más de 100.000 toneladas, que produjeron 1.716.000 pesetas, casi todas en la provincia de Huelva. Actualmente se halla esta industria muy disminuída, por la baja del precio de la mena en el mercado.

Yace en rocas antiguas y en las arenas procedentes de la disgregación de éstas, como ocurre en Ceilán, India, Urales, China, Tibet y Estados Unidos. Las variedades transparentes, limpias y de buen color constituyen las piedras finas más apreciadas, después del diamante, por su dureza y alta refringencia; el rubí oriental alcanza muchas veces el valor de aquél. El esmeril sirve, pulverizado, para pulir metales y aun tallar las piedras finas, en virtud de dicha dureza. Con él se adelgazan las esquirlas de los minerales y rocas, para prepararlos en sección transparente y examinarlos al microscopio.

Hematites.—*Hematites roja, hierro oligisto.*—Oxido férrico anhidro (sesquióxido), $Fe^2 O^3$. Exagonal; en romboedros combinados entre sí y con escalenoedros, con la base muy desarrollada en muchos cristales; estructura concrecionada, compacta, en laminillas de aspecto micáceo (*hierro especular*), escamosa; $d = 5,5$ a $6,5$; frágil; fractura concoidea o irregular y terrosa. El color es negro de hierro o rojo, pero la raya y el polvo son siempre rojos; brillo metálico intenso cuando está cristalizado y con poco brillo, casi mate o mate del todo, si no lo está; $p = 5,7$. Es infusible sobre el carbón; mediante el soplete se vuelve magnética al fuego de reducción; al de oxidación con el vidrio del bórax produce una perla amarillo rojiza en caliente, que se queda incolora al enfriarse, si se tomó poco mineral, pero que es de color rojo intenso en caliente y amarillo-rojiza en frío si se puso bastante substancia, y que se vuelve de color verde botella al fuego de reducción. Se disuelve lentamente la hematites en los ácidos nítrico y clorhídrico, en cuyas disoluciones el amoníaco en exceso produce un precipitado rojo gelatinoso de hidrato férrico.

Las variedades cristalizada y especular llevan el nombre de *hierro oligisto*, dándose de preferencia el de *hematites roja* a las concrecionadas y compactas. En el seno de algunos minerales existen escamillas rojas de oligisto, comunicándoles reflejos especiales cuando son aquéllos transparentes. Y en esta forma se produce en los volcanes, y suelen englobarlo las rocas de este origen, como las de Jumilla (Murcia), donde se presenta especular asociado a la esparraguina; hay también en Cartagena y en el Pedroso (Sevilla) ejemplares muy bellos de esta variedad. La hematites concrecionada y en masa compacta forma capas y bolsadas entre los materiales sedimentarios de todas las edades, siendo importantes los de Vizcaya, El Pedroso, los distritos de Braganza, Eborá y Beja, en Portugal, y otros yacimientos donde es explotado para la extracción del hierro y fabricación del acero.

Cuprita, cobre rojo.—Oxido cuproso anhidro, $Cu^2 O$. Regular; ordinariamente en octaedros de color rojo rubí y brillo metálico adamantino, transluciente; capilar, compacta, térrea y mezclada con óxido férrico hidratado (*cobre rojo de teja*); rojo cochinilla muy intenso en la raya y polvo; $d = 3,5$ a 4 ; $p = 5,7$ a 6 . Es soluble en los ácidos y hasta en el amoníaco, al que tiñe de azul; colora la

llama verde y de azul, si previamente se humedece el ensayo con ácido clorhídrico; con el bórax produce un vidrio verde amarillento en caliente y azul en frío; sobre el carbón se ennegrece, funde, y, por último, se reduce a cobre metálico. Encuéntrase asociada a casi todos los ejemplares de cobre nativo, calcopirita y otros minerales del mismo metal. Bellísimos cristales hay en la mina *Cruz*, de Linares (Jaén), y Santa María del Cobre (Santiago de Cuba), siendo frecuente en los filones cupríferos de la América Meridional. Es uno de los minerales de cobre más ricos, pues contiene 88 por 100 de este metal, para cuya extracción se emplea.

Opalo.—Hidrato silícico, $[H^2 O]x Si O^2$. Es, como ya hemos dicho (página 85), el modelo por excelencia de minerales amorfos; contiene de un 3 a un 15 por 100 de agua; estructura concrecionada; fractura concoidea o astillosa; frágil; brillo craso o vítreo; $d = 5,5$ a $6,5$, no despide chispas con el eslabón como el cuarzo; $p = 1,9$ a $2,3$. Da agua en el tubo; al soplete decrepita, pero no se funde, y es soluble con más o menos facilidad en la potasa cáustica.

El ópalo presenta variedades numerosas, entre ellas las siguientes: la *geyserita*, sílice incrustante que depositan al aire libre en la superficie de la tierra las aguas de muchos *geyséres* (véase página 57), en forma de masas cónicas, irregularmente estratificadas, estalagmíticas, blancas, grises o amarillentas; la *hialita*, transparente, concrecionada, rellena hendiduras de las rocas volcánicas, como ocurre en el Teide (isla de Tenerife). En las rocas eruptivas descompuestas se hallan penetraciones del llamado *ópalo noble*, el cual ofrece en un fondo lechoso brillantes reflejos irisados, debidos a diminutas grietas irregulares producidas por retracción de la masa, variedad que se usa en joyería y se encuentra en Guatemala y Honduras y también en Hungría; el *ópalo de fuego*, transparente, de brillo craso y con tonos rojos y amarillos muy vivos, aunque se empañan mucho por la exposición al aire, que se extrae junto a Zimapan (Méjico); el *blanco* o *lechoso*, en costras con aspecto de porcelana, asociadas a la calcedonia en el Cerro de Almodóvar o de Vallecas (Madrid); el *semiópalo*, abundante también en esta localidad, de aspecto céreo, resinoso, transluciente en los bordes, quebradizo, sobre todo en la cantera, con variedad de colores, desde el blanco amarillento hasta el pardo y el negro, y al cual se refiere el *hidrófano*, que se hace transparente cuando ha estado un rato sumergido en el agua. El ópalo, sustituyendo a la materia orgánica de las maderas, la fosiliza a veces y se dice entonces *jilópalo*. Forma las valvas de las algas silíceas microscópicas llamadas diatomáceas, que por su asociación originan el *tripoli* o *harina fósil*, como se explicó (página 52).

Los ópalos de aspecto vistoso se usan en joyería como piedras de más o menos valor. El tripoli sirve para pulir metales, y cuando es bien puro, se emplea en la fabricación de la dinamita, actuando de vehículo a la nitroglicerina por el poder absorbente que tiene esta substancia mineral.

Limonita, hematites parda, hierro pardo.—Hidrato férrico, $Fe^4 O^3 [HO]^6$. Mineral amorfo; $d = 5$ a $5,5$; con raya, polvo y tiznadura pardos, en lo que se distingue desde luego de las hematites; muestra a menudo en su superficie irisaciones que producen colores tan vivos como variados; $p = 3,5$ a 4 . Da agua en el tubo cerrado; es soluble en los ácidos clorhídrico y nítrico, dejando algunas variedades depósito de arcilla; estas disoluciones se colorean con el amoníaco lo mismo que las de la hematites. Es la mena de hierro más abundante y se presenta originando muchas variedades. Se llama *hematites parda* propiamente dicha, cuando es fibroso-radiada, concrecionada, de superficie obscura, reluciente, y, a veces, irisada, dándose especialmente el nombre de *limonita* a las variedades compactas más o menos pardas; pisolítica (*hierro en granos* o *pisolítico*, oolítica, en geodas (*piedra de águila*) y térrea y mezclada con más o menos arcilla (*ocre, tierra de Siena y bol*), ricas en ácido fosfórico y materia orgánica, porosas y de lustre vítreo o resinoso, que se llama *mineral de pantanos* o *prados*, y es de formación moderna.

Abunda la limonita en los mismos yacimientos que la hematites, a la cual suele estar asociada, pues deriva de ella las más veces, siendo un resultado de su hidratación. En nuestro país son muy importantes los famosos criaderos de Somorrostro (Bilbao), Mazarrón, Cartagena (Murcia), Carboneras (Almería), El Pedroso (Sevilla), etc. (1). En Portugal existe en los distritos citados a propósito de las hematites, con la cual contribuye, casi con exclusión de otros minerales, a la fabricación del hierro en sus diversas formas.

Sasolita.—Acido bórico $B (HO)^3$. Habitualmente se presenta en láminas de apariencia exagonal, aunque en realidad pertenecen al sistema asimétrico, nacaradas, untuosas, de sabor agrio; es soluble en el agua y en el alcohol, que arde entonces con llama verde. Existe en los lagos de la Toscana, alimentados por erupciones hidrotermales (pág. 56), entre otros, y asociado al azufre del Vulcano. Se explota en la fabricación de barnices para la porcelana, la del bórax o borato sódico (2), que sirve como fundente, para soldar los metales, y se usa actualmente en medicina como antiséptico.

CLASE IV

Cloruros y fluoruros.

Pertenecen a esta clase las combinaciones del flúor, cloro, bromo y iodo con los demás elementos (3).

(1) Durante el año 1907 se extrajeron en España cerca de 10 millones de toneladas de mineral de hierro, limonita en su inmensa mayoría, que valieron 51 millones de pesetas; de aquéllas unos 5 millones corresponden a Vizcaya.

(2) El bórax también existe, en estado natural, disuelto en las aguas de algunos lagos, si bien es muy escaso.

(3) Los bromuros y ioduros minerales son raros y poco importantes, y no podemos ocuparnos de ellos aquí.

Los fluoruros se distinguen porque, calentados con bisulfato potásico en un tubo de vidrio, desprenden ácido fluorhídrico (FH), que corroe o empaña el tubo por encima del ensayo, y el mismo efecto se obtiene con una papilla formada de un fluoruro y ácido sulfúrico, o fundiendo el mineral con sal de fósforo. En ambos casos puede taparse la boca del tubo con un vidrio de reloj bañado con cera, en la cual se haya hecho un dibujo, que aparecerá grabado en el vidrio después de quitar la cera.

Los cloruros solubles en agua se distinguen fácilmente, porque su solución da con el nitrato de plata un precipitado blanco cuajoso, que es soluble en el amoníaco y no en los ácidos, y que se ennegrece por la acción de la luz.

Sal gema. — Cloruro sódico, $NaCl$. Cristaliza en el sistema regular, en exaedros; éstos se producen muy fácilmente por exfoliación; ofrece diversas estructuras: hojosa, granuda, sacaroidea y aun fibrosa; el color es blanco cuando la sal está pura; pero puede presentarle rojo, verde, azul, amarillento y hasta negro, debidos a la interposición de substancias metálicas u orgánicas; lustre vítreo; transparente u opaco; $d = 2$; $p = 2,1$ a $2,2$. Decrepita por el calor y tiñe de amarillo la llama del alcohol; es soluble en el agua, casi lo mismo en frío que en caliente, y tiene sabor salado característico.

Se encuentra disuelta en las aguas, y en gran cantidad en los manantiales salados, e interpuesta en toda clase de rocas y terrenos, y hasta en la atmósfera hay indicios de este cuerpo, que el análisis espectral revela claramente. El 75 por 100 de las substancias sólidas que contiene en disolución el agua del mar es de sal común. El agua de los pozos y fuentes salados se ha mineralizado al través de los terrenos por donde ha pasado, existiendo también dilatados lagos salados (mar Muerto y mar Caspio, el gran lago Salado de la América del Norte, lago de Tarlac en Filipinas, etc.). Hay sal en estado de inclusiones microscópicas en muchos cristales (en el de roca, el topacio, etc.), hecho que demuestra la intervención que este cloruro ha tenido en la formación de diversos minerales y rocas.

Los depósitos de sal común se hallan entre arcillas con yeso y otros minerales, constituyendo la *sal gema* o *sal piedra*. En Cardona (Barcelona) hay una montaña entera de ella, que está al descubierto y se levanta a 180 m. con el aspecto pintoresco de un cerro de hielo; en Minglanilla (Cuenca), Wieliczka (Polonia) y Stassfurt (Alemania) son famosos sus depósitos de enorme espesor y extensión; pero la mayoría de la sal que se consume procede de la evaporación del agua del mar (Salinas de San Fernando en Cádiz y Torrevieja en Alicante), o de la de los pozos y fuentes saladas (Espartinas, cerca de Aranjuez, Imón en Guadalajara) (1). En las estepas del mar Caspio, en el desierto de Atacama, tanto de

(1) Según la estadística minera de 1907, produjo España 605.895 toneladas de sal común, que valieron 4 millones y medio de pesetas. Casi la mitad de esta cifra corresponde a las salinas de Cádiz, y más de 180.000, a las de Alicante.

Chile como de Bolivia, en el Perú y en la región ofítica de Andalucía, que es esteparia, también hay muchas salinas. En fin, este cloruro es, después del agua, el cuerpo más esparcido en las rocas de la superficie del globo.

Como es sabido, la sal es de un uso indispensable en la economía doméstica como condimento, para conservar carnes y pescados (salazones) y en la alimentación de los animales, sirviendo también como abono en la agricultura y en una porción de industrias y fabricaciones, principalmente la de sosa o barrilla artificial, y en menor escala la del vidrio, esmaltes, etc., y como fundente.

Fluorita, espato flúor.—Fluoruro cálcico, $Ca F^2$. Cristaliza en el sistema regular, en exaedros que dan octaedros por exfoliación con suma facilidad, siendo una de las sustancias naturales que proporcionan cristales más bellos y voluminosos y frecuentemente maclas de penetración, como la que representa la figura 97.

La estructura de la fluorita es hojosa, pero generalmente compacta; el lustre, vítreo; la hay transparente, incolora, blanca o diversamente coloreada, presentando con frecuencia colores distintos distribuidos en zonas en un mismo cristal, tintas debidas a interposiciones extrañas que son de compuestos orgánicos, así es que el polvo resulta siempre blanco; $d = 4$; $p = 3,1$ a $3,2$; algunos ejemplares fosforecen por la acción del calor.

La fluorita se funde con dificultad en un esmalte que enrojece el papel azul de tornasol húmedo y posee las reacciones de los fluoruros. Es muy frecuente como ganga en los filones metalíferos.—Los más bellos cristales de fluorita proceden de Inglaterra y también de los Alpes, hallándose en España en los filones metalíferos de Colmenar Viejo y Colmenar del Arroyo, en la provincia de Madrid; en las minas de plomo de Adra y Sierra de Gádor (Almería), Jaca (Huesca), etc.—Se usa como fundente, de donde viene el nombre de la especie (de *fluere*) y para la obtención del ácido fluorhídrico, con el que se graba en el vidrio. Los trozos grandes y de aspecto vistoso sirven como piedra de ornamentación para la confección de vasos y objetos semejantes.

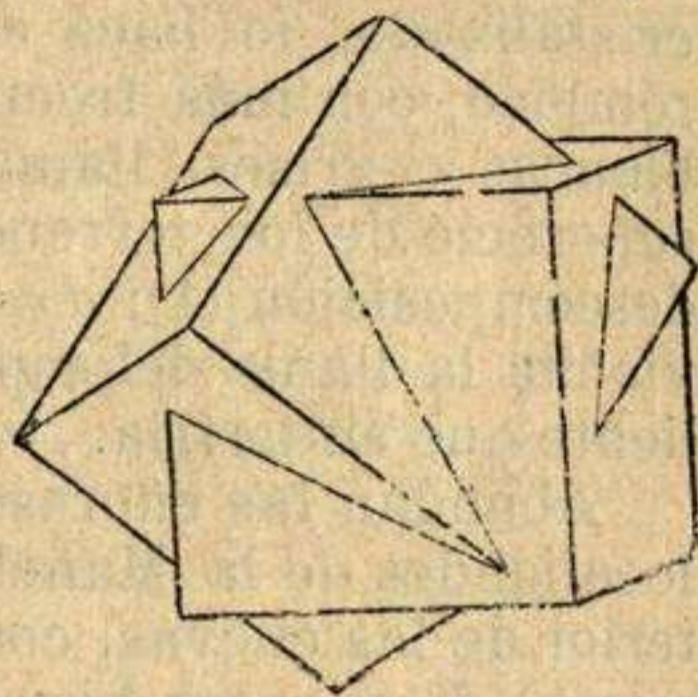


Fig. 97.

CLASE V

Nitratos y carbonatos.

Los minerales comprendidos en esta clase están formados mediante la sustitución del hidrógeno de los ácidos nítrico (NHO^3) o carbónico (CHO^3) por radicales electropositivos. Los nitratos son solubles en el agua y avivan repentinamente la combustión del

carbón cuando se los arroja sobre él, fenómeno que se llama *deflagración*; calentándolos con unas gotas de ácido sulfúrico desprenden vapores rojos sofocantes de peróxido de nitrógeno (NO^2). Los carbonatos todos son descomponibles por los ácidos, desprendiendo con efervescencia el anhídrido carbónico (CO^2), gas incoloro e inodoro.

Las especies más importantes de esta clase forman dos series isomorfas, a saber: serie exagonal romboédrica, constituida por la nitratina, calcita, dolomita, magnesita, siderita, smithsonita y algunos otros menos frecuentes, y serie rómbica, a la que pertenecen el salitre, aragonito, cerusita y los carbonatos bórico y estróncico. Estudiaremos, además, dos especies monosimétricas (azurita y malaquita) y una amorfa (hidrozincita).

Nitro, salitre.—Nitrato potásico, $K N O^3$. Cuando se presenta cristalizado, lo hace en prismas de seis caras, pero del sistema rómbico; con más frecuencia se halla en estado de eflorescencias blancas o grises, llamándose entonces vulgarmente *salitre*, en la superficie de los terrenos que contienen materias nitrogenadas en descomposición (1); $d = 2$; $p = 2$. Deflagra vivamente y colora de violeta la llama del soplete. Es soluble en el agua, y más en la caliente que en la fría.

Abundan las eflorescencias de salitre sobre el suelo de diversas localidades de la Mancha, Aragón y Cataluña, y también en el interior de las cuevas, como ocurre en la Sierra de los Filabres (Almería). Era antes buscado con gran empeño, y hasta se imitaban las condiciones de su producción en las nitrerías artificiales; pero hoy se obtiene casi todo el que se consume en la fabricación de la pólvora, que es su principal aplicación, mediante reacciones químicas entre sales potásicas y la especie que estudiamos a continuación.

Nitratina, nitro cúbico del Perú o de Chile.—Nitrato sódico, $Na N O^3$. Cristaliza en el sistema exagonal, en romboedros idénticos a los fundamentales de la calcita, siendo impropia la denominación de nitro cúbico que se suele dar a esta especie; generalmente se halla en masas granulares de color blanco o gris, que contienen, además, arcilla y varias sales sódicas, yeso y sales magnésicas (*caliche* de los americanos). Funde fácilmente, colorando la llama de amarillo y no deflagra en las ascuas tanto como el nitrato potásico; es muy soluble en el agua, y ofrece sabor salado fresco. Constituye capas extensas en las llanuras del Perú, Chile y Bolivia, en regiones de una sequedad extrema, donde se recoge para la fabricación de abonos artificiales, la del ácido nítrico y para su transformación en nitrato potásico destinado a la fabricación de la

(1) La producción de los nitratos naturales es el resultado de la oxidación lenta del amoníaco, proporcionado por las deyecciones y despojos animales, hasta convertirle en ácido nítrico, que, encontrando en el suelo carbonatos de potasa o sosa, los transforma en nitratos. El fenómeno es iniciado por la actividad vital de una o varias especies de microbios, que toman del aire el elemento que necesitan para realizar dicha oxidación.

pólvora, puesto que el que nos ocupa no sirve para esta aplicación por ser demasiado higroscópico.

Calcita, espato calizo, caliza.—Carbonato cálcico (en estado neutro), $CaCO_3$. Exagonal, en romboedros de $105^{\circ}5'$, y más frecuente en escalenoedros y prismas exagonales combinados con romboedros (figuras 98, 99 y 100); exfoliación romboédrica de $105^{\circ}5'$; $d = 3$; $p = 2,6$ a $2,8$, siendo el más ligero de los carbonatos; transparente e incolora cuando es pura, en cuyo caso posee una do-

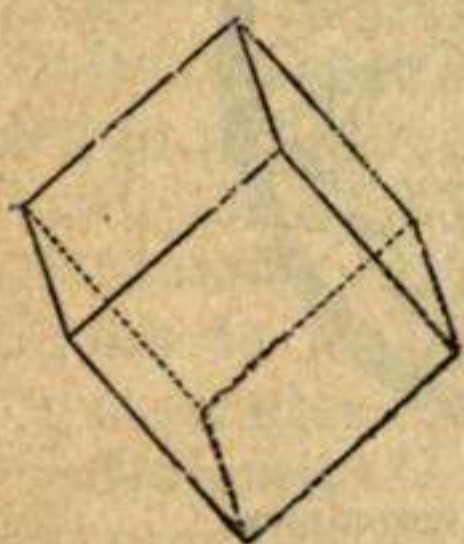


Fig. 98.

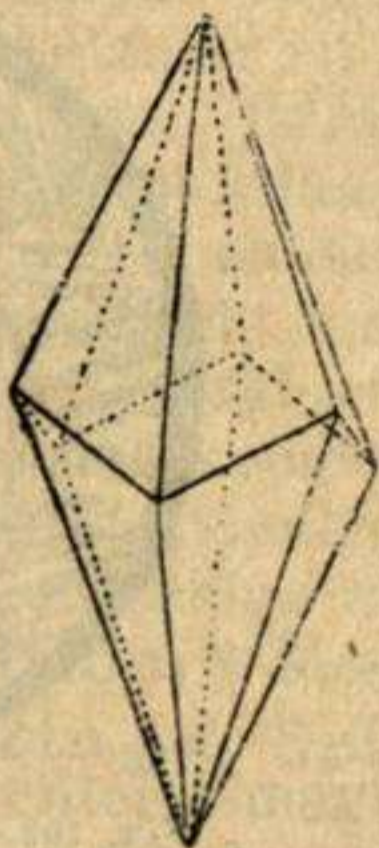


Fig. 99.

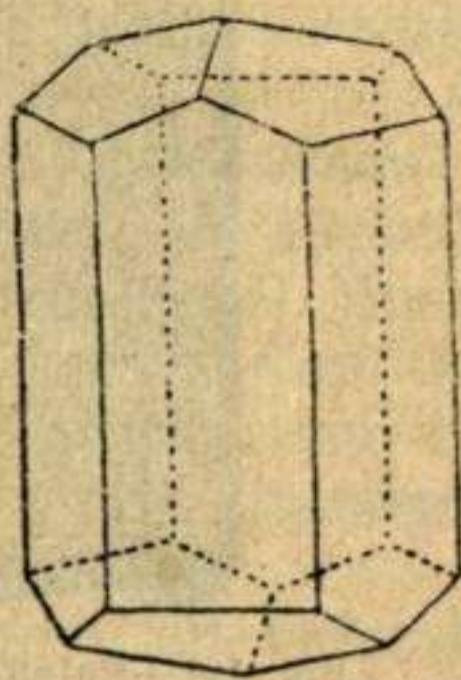


Fig. 100

ble refracción enérgica y opaca, y diversamente coloreada, cuando tiene sustancias interpuestas. Calentada sobre el carbón, pierde CO_2 , quedando reducida a cal viva, que vuelve rojo pardo el papel amarillo de cúrcuma y brilla mucho en la llama del soplete, a la que colora de rojo, sobre todo si se humedece con ácido clorhídrico. La calcita da viva efervescencia con los ácidos, aunque esté en grandes trozos; la disolución neutralizada con amoníaco produce un abundante precipitado blanco con el oxalato amónico. En el agua carbónica, se disuelve este carbonato en la proporción de 10 por 100, y evaporando la disolución, se deposita en cristales romboédricos.

Las muchas variedades que presenta la calcita pueden agruparse del modo siguiente:

1.º *Calcitas cristalizadas.*—Ofrecen un gran número de formas cristalinas, pues se han descrito más de 700 combinaciones; estos cristales se hallan tapizando rocas. La más importante de todas estas variedades es la llamada *espato de Islandia*, por hallarse en dicha isla, siendo notable por su diafanidad y por mostrar el fenómeno de la doble refracción tan admirablemente, como se dijo (página 94), por lo que es insustituible para construir los diversos instrumentos de óptica fundados en esta propiedad.

2.º *Calcitas cristalinas.*—Encierra este grupo muchas variedades micro-cristalinas, entre ellas la calcita *fibrosa*, la *concrecionada*, que comprende las *estalactitas* y *estalagmitas*, el *alabastro calizo*, las *ooli-*

tas (fig. 101) y *pisolitas* (*confites* de Tívoli o de Gran Canaria), la *pseudomórfica* y *fosilizante*, etc.

3.º *Calizas* o carbonato cálcico compacto, en grandes masas, que constituye una de las rocas más abundantes en la corteza terrestre y origina numerosas variedades, y entre ellas las siguientes: *mármol blanco* o *estatuario* (fig. 102), de estructura granular o sacaroidea, siendo el más estimado el de Carrara; a veces encierra sustancias bituminosas o fétidas (hidrógeno sulfurado especial-



Fig. 101.—Calcita oolítica.

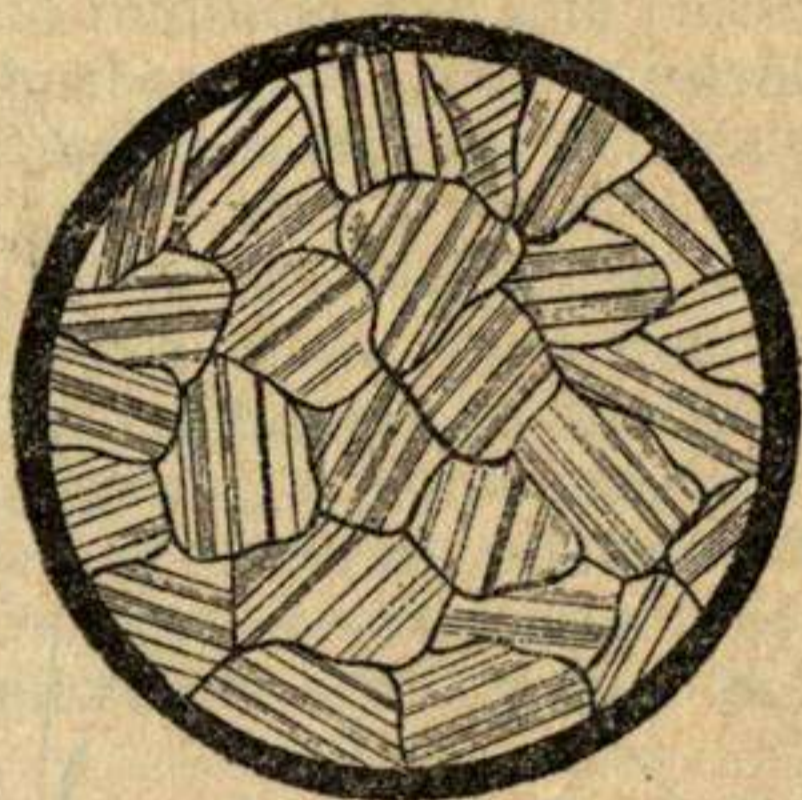


Fig. 102.—Estructura microscópica del mármol estatuario.

mente), apreciable cuando se raspan o golpean los ejemplares y se llaman calizas *bituminosas* o *fétidas*; *calizas bastas* o *piedra caliza*, como la de Colmenar, que es blanca, y es la variedad que forma rocas más importantes; los *mármoles* (1), generalmente teñidos por materias carbonosas (mármoles negros) y ferruginosas de diverso color; las calizas *margosas*, que contienen mucha arcilla y algo de sílice, a cuyas sustancias debe la cal viva, obtenida con estos materiales, la propiedad de fraguar o endurecerse debajo del agua, por lo que se conocen con el nombre de *cales hidráulicas* o cemento romano; las calizas *tobáceas* porosas e *incrústantes*, debidas al carbonato de cal en estado ácido que a la presión ordinaria de la atmósfera se deposita en estado neutro sobre ramas, caracoles u otros objetos, y la *creta* o tiza, tierna, blanca, que tizna los dedos, rica casi siempre en fragmentos de conchas de moluscos, y, sobre todo, en formas microscópicas, como feraminíferos, espículas de esponjas y pólipos, etc. (fig. 15). Consiste en carbonato de cal casi puro.

Es muy usada esta especie, según las condiciones de cada una de sus variedades, como material de construcción y decorado, en la fabricación de la cal viva y cementos, y en el mejoramiento de tierras pobres en cal carbonatada y poco permeables.

(1) Se dice *mármol* a la caliza en masa, cuando es susceptible de adquirir pulimento independientemente del color y la estructura (compacta, brechiforme, veteada, etc.), que pueda ofrecer, y en oposición a las calizas *bastas*, las cuales siempre permanecen mates.

Abundan las calcistas en nuestro país, pudiendo citarse principalmente las siguientes localidades: cristalizadas, en las grietas de la sepiolita del Cerro de Almodóvar (Vallecas), en los filones metalíferos de Hiendelaencina (Guadalajara) y Linares (Jaén); espática, o sea fácilmente exfoliable en romboedros, y opaca, en Ribadesella (Asturias), La Hermida (Santander), Cestona (Guipúzcoa); sacaroidea, en El Escorial y Robledo de Chavela (Madrid) y Macael (Almería); como estalactitas, son notables las de las cuevas de San Valerio, cerca de Mondragón (Guipúzcoa), que recuerdan, por su transparencia, las célebres de Bellamar en Matanzas (isla de Cuba), las de las cuevas de Artá (Mallorca) (fig. 10), Cóbreces (Santander), del Reguerillo, cerca de Torrelaguna (Madrid), y otras muchas localidades; la variedad oriental o transluciente del alabastro calizo, en Aracena (Huelva), y la llamada de aguas en Lanjarón (Granada) y Dalías (Almería); mármoles, en casi todas las provincias de España, según puede verse en la hermosa colección que existe en el Museo Nacional de Ciencias Naturales; calizas hidráulicas, en Comillas (Santander); creta, en las cercanías de Oviedo, y, por último, las aguas de los ríos Gallo, Piedra y Mesa (Zaragoza) son altamente incrustantes.

→ Por el geólogo Dolomieu.

Dolomita.— Carbonato cálcico magnésico ($Ca Mg$) CO_3 . Cristaliza, como la especie anterior, en el sistema exagonal, pero sus romboedros son de $106^\circ 15'$, y mientras que el romboedro primitivo es muy raro en aquélla, la dolomita se presenta casi siempre bajo esta forma; frecuentemente de caras algo curvas; exfoliación romboédrica muy marcada; estructura compacta, granuda o sacaroidea; color variable; aunque, en general, blanco o claro por lo menos; lustre nacarado; $d = 3,5$ a 4 ; $p = 2,85$ a $2,95$. Al soplete ofrece los mismos caracteres que la calcita, y se disuelve en los ácidos con efervescencia, pero bastante más lenta que la de ésta; en las disoluciones de la dolomita, después de neutralizadas con amoníaco y separada la cal con el oxalato amónico, se reconoce la magnesia por el precipitado cristalino que produce el fosfato amónico. Contiene casi siempre hierro y manganeso.

La dolomita en roca es una de las especies más abundantes en la Naturaleza, aunque no tanto como la calcita, y ofrece casi toda la misma serie de variedades que ésta. En España, las cristalizadas se presentan en los filones metalíferos, como, por ejemplo, en Almadén (Ciudad Real), y la granular o sacaroide constituye masas de mayor o menor extensión en diferentes terrenos, asociada, a veces, a minerales metálicos, como en Reocín (Santander), donde acompaña a los minerales de zinc; existe también en Vélez-Málaga, donde es fétida; en Coín (Málaga), Mascaraque (Toledo), etc. Las variedades blancas sacaroideas se emplean en estatuaria, ornamentación, para labrar losas y también para preparar el óxido y sales magnésicas.

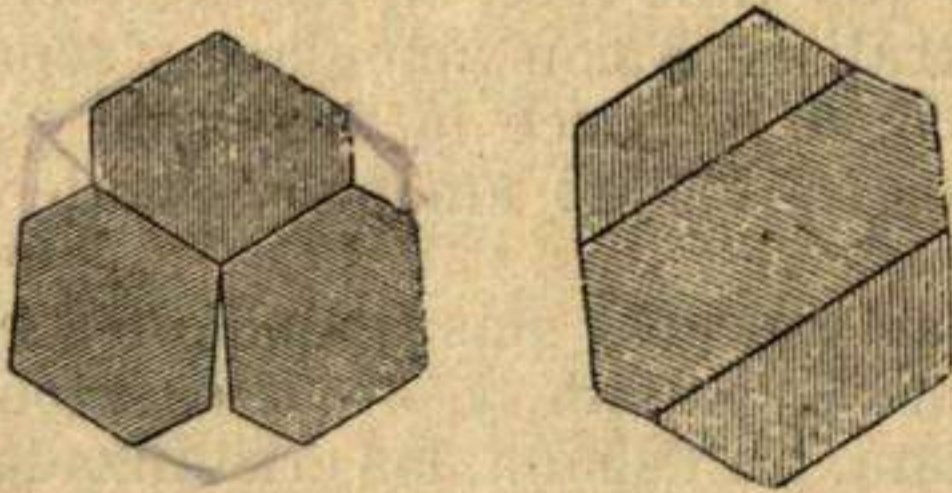
Smithsonita, calamina de los mineros.— Carbonato zincico anhidro, $Zn CO_3$. Exagonal: en pequeños romboedros de $107^\circ 40'$; pero, ge-

neralmente, en agregados concrecionados y con marcado lustre céreo y aspecto de calcedonia; color variable, pues las hay incoloras, amarillas, pardas, verdes o gris parduscas; $d = 5$; $p = 4,5$. No da agua en el tubo cerrado, presenta las reacciones de los carbonatos y brilla mucho a la llama del soplete, tomando hermoso color verde al enfriarse después de haberla enrojecido fuertemente con una gota de una disolución de nitrato de cobalto. Constituye un mineral filoniano muy importante para la extracción del zinc, que se explota en La Florida (Santander), Andara (Picos de Europa) y Sierra de Cartagena.

Siderita, hierro espático.—Carbonato ferroso, $Fe CO^3$. Cristaliza en el sistema exagonal, en romboedros de 107° ; espática, granuda; cuando ofrece color amarillo de miel y lustre vítreo, es pura, siendo traslúcida, pero la mayoría de los ejemplares son más o menos opacos, amarillentos o rojizos, y aun pardos, por interposiciones que contienen y, sobre todo, por su conversión parcial o total en hidrato férrico; $d = 3,5$ a $4,5$; $p = 3,7$ a $3,9$. Con el soplete, sobre el carbón, se ennegrece y hace magnética, dando al vidrio del bórax las coloraciones propias del hierro (pág. 109); produce efervescencia con el ácido clorhídrico caliente. Es abundante en la Naturaleza y, a veces, en estado de verdaderas rocas y, sobre todo, en filones, formando la ganga de varios sulfuros explotados; así se encuentra cristalizada y espática, acompañando a minerales metálicos en Sierra Almagrera, Sierra Nevada y en Oyarzun (Guipúzcoa). Constituye uno de los minerales que producen mejor hierro, en cuya extracción se emplea, y se ha llamado *mena del acero* por sus excelentes condiciones para la fabricación de este producto.

Formigueros
(Galicia)

Aragonito.—Carbonato cálcico, $Ca CO^3$, como la calcita, pero cristalizado en el sistema rómbico; en prismas, que asociándose casi siempre por sus caras, en número de tres, por lo menos, originan uno de apariencia exagonal (figura 103); estructura acicular, fibrosoradiada; ramificada o coraloidea (fig. 104) y concrecionada; fractura concoidea; color blanco, rojizo, amarillento, verdoso; lustre vítreo; es más duro y denso que la calcita; $d = 3,5$ a 4 ; $p = 3$. Al soplete decrepita.



Figuras 103 y 104.— Secciones de maclas centradas de aragonito aparentemente exagonales.

reduciéndose a polvo, y tratado por los ácidos, se disuelve con efervescencia, aunque algo menos tumultuosa que la de la calcita. Los cristales maclados abundan entre las arcillas irisadas, con cuarzo hematoideo y yeso en Molina de Aragón (Guadalajara), donde se descubrió primeramente y de donde tomó su nombre, en Monterde (Zaragoza) y otros puntos de Aragón, en que los conocen con el nombre de *torrecicas*, mientras que en la provincia de Burgos los llaman *piedras de Santa Casilda*. Las variedades con-

crecionadas, fibrosas y aciculares son productos secundarios en diferentes rocas, como en los basaltos. En las minas de hierro suelen hallarse en forma de bellos ramos muy blancos entrelazados, que se denominan flor del hierro (*flos ferri*), y también *aragonito coraloideo*, porque simula corales por su disposición arborescente (fig. 105). Los depósitos de carbonato cálcico que se realizan a temperaturas superiores a la ordinaria son las más veces de aragonito, como las incrustaciones y pisolitas de las célebres aguas minerales de Karlsbad (Alemania).

Siendo el carbonato de cal dimorfo, claro es que sus dos especies, calcita y aragonito, no pueden distinguirse fácilmente por caracteres químicos. En cambio, se diferencian por la exfoliación y, sobre todo, mediante el empleo de los caracteres ópticos, puesto que la calcita es uniáxica y el aragonito biáxico (pág. 96).



Fig. 105.—Aragonito coraloideo.

la calcita es uniáxica y el aragonito biáxico (pág. 96).

Cerusita, plomo blanco.—Carbonato plúmbico, $PbCO_3$. Rómbica, en cristales piramidales de facies exagonal, prismas y maclas en forma de punta de flecha. Se presenta frecuentemente bacilar; en cristales o láminas entrecruzadas (fig. 106), que originan pintorescas celosías, o en masa compacta, blanca o gris; su lustre es adamantino intenso y algo craso; muy frágil y de fractura concoidea; $d = 3$ a $3,5$; $p = 6,5$. Sobre el carbón, con el soplete se funde muy fácilmente, dando al fuego de reducción un glóbulo de plomo, y, por tanto, sumamente maleable. Se disuelve la cerusita con efervescencia en el ácido nítrico, cuya disolu-

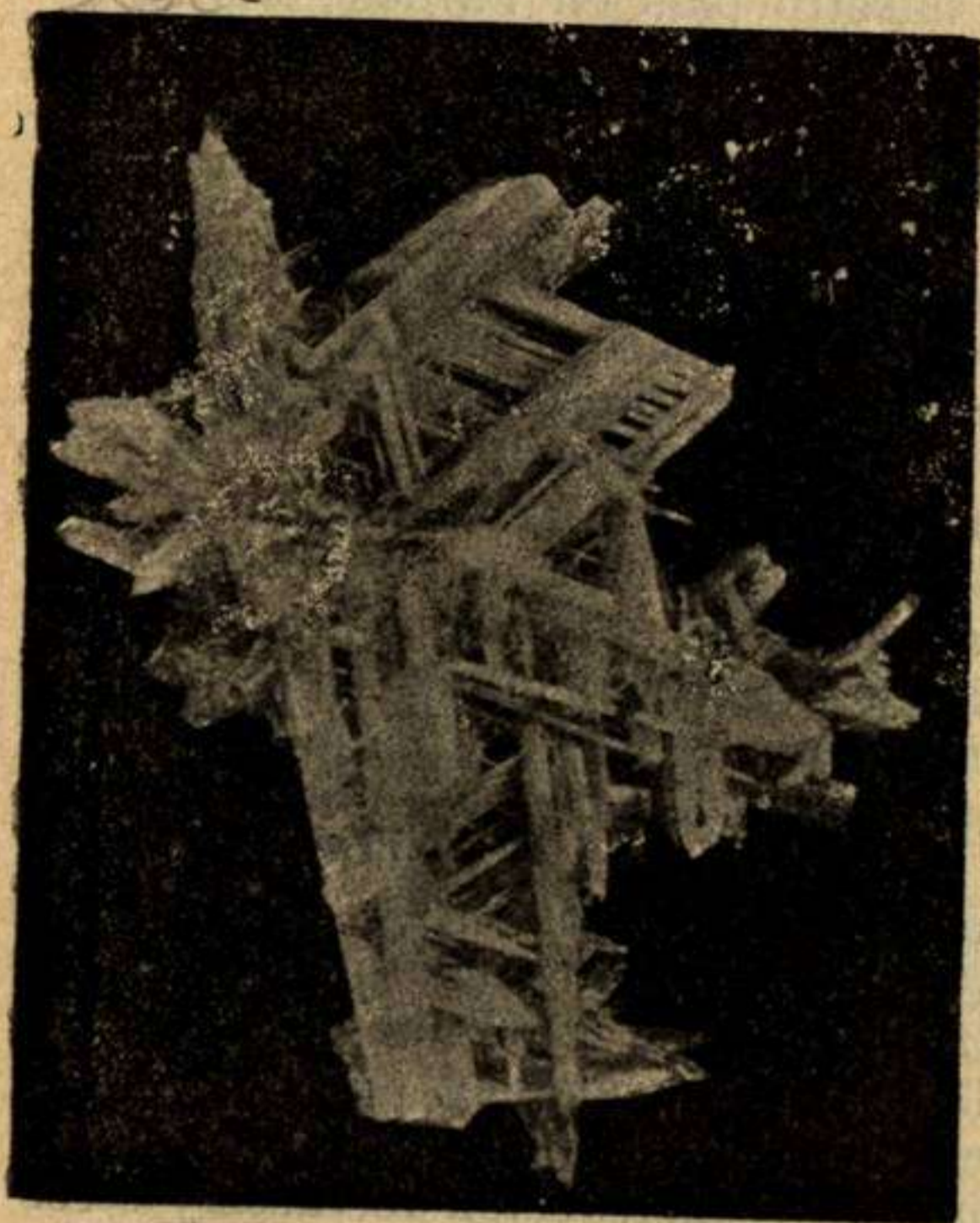


Fig. 106.—Cerusita en celosías.

ción precipita en negro con los sulfuros solubles, y en blanco con los sulfatos y el ácido sulfúrico.

Abunda este carbonato en las minas de plomo: en España, se halla en forma cristalizada en varias de Sierra Almagrera, Linares (Jaén), Badajoz, Ciudad Real, Cartagena, etc.; en la mayoría de los casos es un producto de transformación de la galena, y por eso aparece tan a menudo asociado a ella.

Hidrozinca, *zinconisa*, *calamina* de los mineros. — Carbonato básico de zinc $(ZnOH)^2CO^3$. Mineral amorfo, concrecionado, terroso; blanco mate; $d = 2$ a 2,5. Como la smithsonita, al soplete brilla mucho, tomando humedecida con nitrato de cobalto la coloración verde característica del zinc; pero se distingue de aquélla por dar agua en el tubo. Se halla asociada a los otros minerales de zinc en la provincia de Santander, con los cuales se explota para la extracción de dicho metal.

Azurita, *cobre azul*. — Hidrocarbonato de cobre $Cu. (Cu OH)^2 (CO^3)^2$. Monosimétrica; de estructura compacta, granular; hojosa; color azul muy intenso y característico; lustre vítreo; raya y polvo azul esmalte; $d = 3,5$ a 4; $p = 3,7$ a 3,8. Da agua en el tubo; colora de verde la llama del soplete, o de azul si se humedece el ensayo con una gota de ácido clorhídrico; al fuego de reducción deja cobre metálico y al de oxidación con el vidrio del bórax da una perla verde amarillenta en caliente, y azul en frío, roja y opaca al fuego de reducción; es soluble en los ácidos con efervescencia, y en el amoníaco, produciendo un líquido azul. Existe en los criaderos de cobre, como sucede en nuestro país en Pardos (Molina de Aragón); Cartagena, Linares y Riotinto. Se emplea para la extracción del cobre, pero como no se presenta en grandes masas, carece de importancia en este respecto; también sirve para fabricar el color azul de azurita.

Malaquita, *cobre verde*. — Hidrocarbonato de cobre $(Cu OH)^2 CO^3$. Sus cristales son monosimétricos, pero escasean mucho; ordinariamente se presenta en masas aciculares fibroso-radiadas o concrecionadas, de color verde muy bello y característico; lustre sedoso; $d = 3,5$ a 4; $p = 3,7$ a 4,1. Da las mismas reacciones que la azurita, de la que difiere principalmente por tener más agua que esta última, la cual es de estructura cristalina, al paso que la malaquita aparece casi siempre concrecionada. La primera se cambia fácilmente en la segunda absorbiendo agua y perdiendo anhídrido carbónico. Acompaña a los otros minerales de cobre, siendo más abundante que la especie anterior. Los más bellos ejemplares proceden de los Montes Urales. En España se encuentra en Colmenar Viejo (Madrid), Collado de la Plata (Teruel), Huidobro (Burgos); accidentalmente en toda la región piritífera de la provincia de Huelva y en las mismas localidades de la azurita. Se emplea para la extracción del cobre; molida como color para muros, y la de los Montes Urales en la decoración de muebles y construcción de vasos y otros objetos de adorno.

CLASE VI

Sulfatos (1)

Los sulfatos son sales formadas por la sustitución total o parcial del hidrógeno de una o varias moléculas del ácido sulfúrico (SO^4H^2) por radicales electropositivos.

Figuran importantes minerales en esta clase, todos los cuales, así como los sulfuros, fundidos sobre el carbón al fuego de reducción con una mezcla de carbonato de sosa y cianuro potásico, dan hépar (pág. 108); pero se diferencian de éstos por ser sustancias pétreas y carecer, por tanto, de brillo y de colores metálicos, y no desprender hidrógeno sulfurado por la acción del ácido clorhídrico. Unos sulfatos son solubles en el agua o en los ácidos, como los de sodio, magnesio y calcio, y otros llegan a serlo después de fundirlos con carbonato de sosa en una cucharita de platino; las disoluciones de unos y otros dan, con la del cloruro o nitrato báricos, un precipitado blanco, insoluble en los ácidos, que es de sulfato bárico. Se dividen en dos grupos: anhidros e hidratados.

SULFATOS ANHIDROS

Baritina, Espato pesado.—Sulfato bárico, $Ba SO^4$. Rómbica; en cristales de formas muy variadas y con frecuencia sumamente bellos, de facies prismática o tabular (figs. 107, 108 y 109), incoloros, blancos o diversamente coloreados por sustancias extrañas; la



Fig. 107.

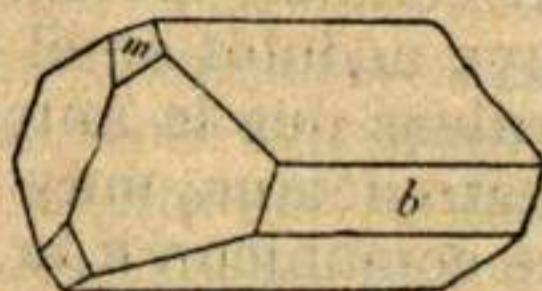


Fig. 108.

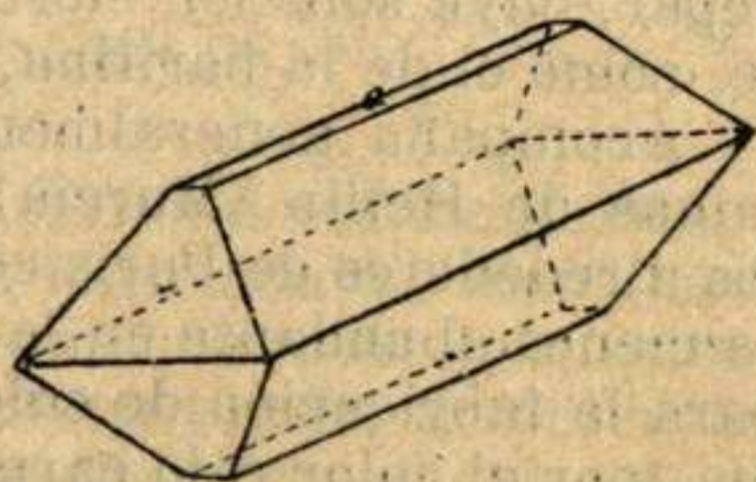


Fig. 109.

hay también en mamelones, granuda y fibrosa; exfoliación prismática; lustre vítreo; $d = 3$ a $3,5$; $p = 4,3$ a $4,7$; a esta densidad considerable, que es la mayor de todas las piedras, alude el nombre que dieron los antiguos mineralogistas a la especie de que trata-

(1) Prescindimos de las secciones de los cromatos, molibdatos y tungstatos, por comprender especies cuya importancia no es bastante para incluirlas en una obra tan elemental como la presente.

mos y el vulgar. Insoluble en los ácidos. Decrepita y funde al soplete en una masa de reacción alcalina que vuelve rojo el papel de cúrcuma; al fuego de reducción sobre el carbón, después de pulverizada, colora de verde amarillento el dardo del soplete, sobre todo si se ha humedecido con ácido clorhídrico; fundida con sosa y cianuro da hépar, cuya disolución en ácido clorhídrico precipita inmediatamente en blanco con la solución de yeso.

Es un mineral de filón sumamente abundante, si bien no forma grandes masas, ni es elemento de roca alguna compuesta. Se encuentra sirviendo de ganga a los sulfuros metálicos en Hiendelaencina (Guadalajara), en Almadén (Ciudad Real), donde hay hermosos cristales salpicados de rojo por el cinabrio, Sierra Almagrera (Almería) y otros muchos sitios, lo mismo en España que en el Extranjero, con galena. En los filones se halla generalmente lamelar, y suele formar bellos cristales en grupos pintorescos, en drusas, rosetas, etc., que figuran en las colecciones mineralógicas. Se emplea para preparar sales de barita, y el hidrato sirve con el fosfato de amoníaco para la refinación de los azúcares.

ESTRONCIANITA. Celestina.—Sulfato de estroncio, $Sr SO^4$. Cristaliza en el sistema rómbico en formas prismáticas muy parecidas a las de la baritina, de bello aspecto y lustre vítreo; transparente por lo común; también se presenta en masas; es incolora, blanca, azul a veces, aunque esto no es frecuente más que en la variedad que se conoció primero, a lo que alude el nombre que lleva la especie; $d = 3$ a $3,5$; $p = 4$. Sus caracteres químicos son semejantes a los de la especie anterior; como ella decrepita y se funde en una masa de reacción alcalina; al fuego de reducción sobre el carbón y humedecida con ácido clorhídrico, tiñe de rojo carminoso el dardo del soplete, en lo que se distingue de la baritina; fundida con sosa y cianuro, da un hépar, cuya solución clorhídrica precipita, pero no inmediatamente, como el de la baritina, con la solución de yeso.

Acompaña generalmente al yeso y al azufre en Sicilia, en las minas de Hellín (Murcia), Conil (Cádiz), Morón (Sevilla), etc. En los alrededores de París constituye nódulos en el yeso. Esta especie es menos abundante en la Naturaleza que la anterior (1). Se emplea para la fabricación de sales de estronciana, muy usadas en pirotecnia, por el color rojo carmín que comunican a la llama.

Anglesita.—Plomo sulfatado, $Pb SO^4$. Cristalizada en el sistema rómbico; débil dureza (2 a 3); frágil; $p = 6,2$; color blanco transparente o incoloro. Casi insoluble en los ácidos, y fusible a la llama de una bujía. Proviene este mineral de la descomposición de la ga-

(1) La baritina y la celestina proporcionan un ejemplo clásico de dos minerales sumamente análogos por su composición, forma y demás caracteres, y que difieren, sin embargo, bastante por sus asociaciones y yacimiento. La primera se presenta en filones y va acompañada de minerales metálicos; la segunda yace interpuesta en los terrenos sedimentarios y se asocia al yeso, al azufre, a la sal y a las materias orgánicas, como en el barro de los volcanes fangosos (pág. 52). Sólo por excepción se ve a la celestina asociarse a la blenda y a la galena.

lena, a la cual se encuentra constantemente asociado en los yacimientos que de ella indicamos (pág. 125).

Glauberita.—Sulfato sódico-cálcico, $Na^2 SO^4 Ca SO^4$, que suele presentarse en agregados cristalinos (monosimétricos), de color blanco, transparentes, o hallarse asociada su masa a los yesos y a la sal en Ciempozuelos, Chinchón (Madrid), Villarrubia de los Ojos (Toledo) y Cerezo del Riotirón (Burgos). Se ha empleado en la fabricación de la sosa cáustica, pero hoy se hace ésta artificialmente.

SULFATOS HIDRATADOS

Yeso.—Sulfato cálcico hidratado, $Ca SO^4 2H^2 O$. Mineral monosimétrico; en cristales prismáticos o tabulares (fig. 110), con una exfoliación muy fácil paralelamente a las caras más desarrolladas de estas tablas, o en maclas frecuentes en forma de *punta de flecha* y *hierro de lanza* (fig. 111); compacto, hojoso (*selenita, espejuelo*), sacaroideo (*alabastro de yeso*) y a menudo arriñonado y fibroso o fibroso radiado; lustre vítreo, sedoso, siempre intenso; incoloro y transparente, blanco y opaco, gris o rojo; a causa de su poca dureza, 1,5 a 2, se raya con la uña; $p = 2,2$ a $2,4$.

Da agua en el tubo cerrado, volviéndose opaco; se funde al soplete, aunque difícilmente, en un esmalte blanco. Algo soluble en el agua, más en la fría que en la caliente y en la acidulada con clorhídrico, y la solución precipita con el cloruro de bario y también con el oxalato amónico, después de añadir amoníaco, si la disolución era ácida. No se disuelve en los demás ácidos.



Fig. 110.



Fig. 111.

Se encuentra el yeso en casi todos los terrenos sedimentarios, y sobre todo en los secundarios y terciarios, formando a veces masas considerables, y entonces se parece a la caliza en roca; pero se distingue fácilmente de ella por su menor dureza y falta de enervescencia con los ácidos. Es, sobre todo, compañero inseparable de la sal común y también del cuarzo hematoido y aragonito entre las arcillas irisadas, así como del azufre. En los lagos salobres se deposita antes que el cloruro sódico, apenas se concentra el líquido de éstos merced a la evaporación, como sucede también en las orillas de los mares interiores.

Hermosos cristales de yeso se hallan en nuestro país, en Pulpí (Almería), Sierra de Cartagena, Alcalá de Henares (Madrid) y Remolinos (Zaragoza), asociados a la sal. Son muy bellas por su tamaño y transparencia las selenitas de la isla de León (Cádiz), existiendo esta variedad juntamente con la sacoroidea y fibrosa, en abundancia, en la mayoría de las provincias centrales de España.

El yeso compacto origina depósitos y masas poderosas, a veces con espesores extraordinarios, y, por tanto, constituye verdaderas rocas (*piedra de yeso*). Tal sucede, por ejemplo, en los alrededores de París, donde encierra huesos de mamíferos de la era terciaria.—El alabastro de yeso se emplea en escultura y se hacen con él baldosines blancos para el solado de las habitaciones. Como material de construcción se usa, ya como sale de la cantera allí donde abunda, ya cocido y molido, solo o mezclado con una parte de marga, constituyendo lo que se llama *yeso negro* (1). El más blanco y puro, que se conoce con el nombre de *escayola*, se emplea para vaciar o modelar. También se usa como abono en los prados y sitios húmedos, lo cual se funda en que este cuerpo contribuye a la transformación del carbonato potásico de las tierras en sulfato, en cuya combinación la potasa es más asimilable por las plantas.

Epsomita, sal amarga, de la Higuera, de Vaciamadrid, de Calatayud.—Sulfato de magnesia hidratado, $Mg SO^4 7 H^2O$. Se halla disuelta en los manantiales a que aluden los nombres citados y otros que deben a ella su sabor amargo y sus propiedades purgantes, así como las aguas del mar. La evaporación de sus disoluciones da agujitas rómbicas que al aire se eflorescen, cubriendo los suelos arcillosos de las estepas u origina bellas fibras sedosas, como en Calatayud.

Alunita, piedra alumbre.—Sulfato aluminico-potásico, básico con tres moléculas de agua de cristalización, $K (AlO)^3 3H^2O. (SO^4)^2$. Exagonal, en pequeños romboedros; estructura fibrosa las más veces, concrecionada, granular, terrosa; blanca, blanco-amarillenta o rojiza; $d = 3,5$; $p = 2,6$ a $2,8$. Al soplete decrepita y brilla intensamente sin fundirse; el residuo de esta operación, humedecido con una gota de solución de nitrato de cobalto y fuertemente calentado, adquiere, al enfriarse, un bello e intenso color azul esmalte. La alunita es insoluble en el agua; pero tratada con ella, después de calcinada, deja un depósito de alúmina hidratada en copos gelatinosos blancos; la solución contiene alumbre, que cristaliza en octaedros.

En Mazarrón (Murcia) y en la Tolfa, cerca de Civitavecchia (Italia), existe este mineral como un producto de alteración de los feldespatos, debido a emisiones volcánicas sulfurosas. Se explota para la fabricación de los alumbres (2), muy usados en tintorería como mordientes, y en otras industrias.

(1) El yeso pierde por el cocido las tres cuartas partes de agua; mojándose después, cuando va a usársele, la recobra, endureciéndose mucho. Hay que tener en cuenta que si la cocción se hace a una temperatura demasiado elevada, pierde el mineral toda su agua y, con ella, el poder de volverse a endurecer al mojarle nuevamente.

(2) Se llaman así en Química a los sulfatos aluminico-potásicos o aluminico-amónicos con doce moléculas de agua, que cristalizan en el sistema regular.

CLASE VII

Aluminatos y ferratos (1).

De esta clase sólo estudiaremos dos especies, un aluminato y un ferrato, que pertenecen al mismo grupo llamado de las *espinelas*. Son éstas minerales que cristalizan en el sistema regular, isomorfos, en los cuales los óxidos, también isomorfos, aluminico ($Al^2 O^3$), férrico ($Fe^2 O^3$) o crómico ($Cr^2 O^3$), desempeñan la función de radicales o grupos electronegativos. Corresponden a los óxidos salinos de Berzelius.

Espinela, rubí.—Aluminato magnésico, $Mg Al^2 O^4$. Cristaliza en octaedros del sistema regular, maclados frecuentemente de un modo característico; fractura concoidea. La hay transparente y opaca; incolora, rojo vivo (*rubí*), rojo pálido (*rubí balaje*) o amarillo de oro (*rubicela*); $d = 8$; $p = 3,5$ a $3,9$. Es infusible e inatacable por los ácidos. Encuéntrase en Ceilán en arenas sueltas asociada a granos de otras especies, como circón, granate, etc. En Estepona (Málaga) se hallan filones de espinela negra cromífera en masa opaca granular, usada como esmeril a causa de la mucha dureza de esta especie.

Se emplea en joyería la variedad roja, que es transparente, y se estima, aunque mucho menos que el rubí oriental (pág. 135).

Magnetita, hierro magnético, piedra imán.—Ferrato ferroso, $Fe^3 O^4 = Fe O Fe^2 O^3$; es un óxido intermedio, que puede considerarse compuesto de protóxido y de peróxido. Cristales del sistema regular, casi siempre octaedros, sencillos o combinados con otras formas, como el rombododecaedro (figs. 112 y 113); opaca y negra, así como su polvo; $d = 5,5$ a 6 ; $p = 5$; magnética en alto grado;

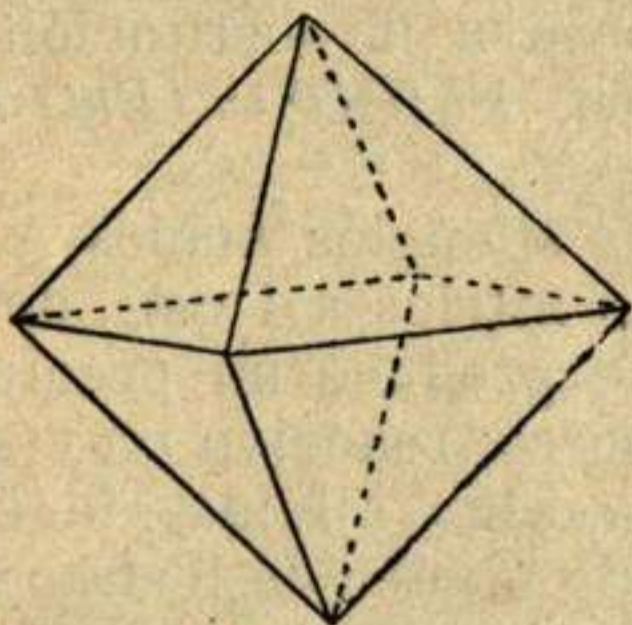


Fig. 112.

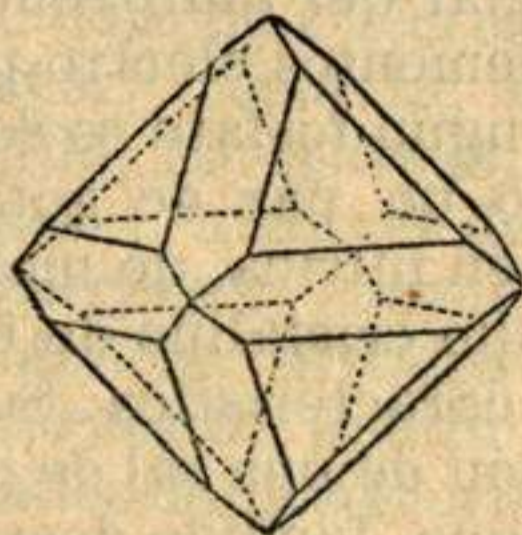


Fig. 113.

algunos ejemplares son polares, de donde viene el nombre de *imán* con que ciertos mineralogistas designan la especie, porque, en efecto, dichos ejemplares constituyen verdaderos imanes naturales. Difícilmente fusibles mediante el soplete, ofrece con el vidrio del bórax

(1) Prescindimos, por su menor importancia, de los boratos, arsenitos y antimonitos.

los mismos caracteres que la hematites y limonita. Reducida a polvo, se disuelve lentamente en el ácido clorhídrico, y la disolución produce con el amoníaco un precipitado negro verdoso que va enrojeciéndose; la disolución nítrica de este mineral presenta iguales fenómenos que las de la hematites, limonita y siderita.

El microscopio ha demostrado que apenas hay roca cristalina que no contenga magnetita bajo la forma de gránulos negros opacos, irregulares o de sección cuadrada o romboidal. Compone masas considerables en terrenos antiguos en la isla de Elba, en la península escandinava, y en España lo hace en Marbella y término de Ojén (Málaga), el Pedroso (Sevilla) y en la provincia de Barcelona; la hay también en menor cantidad, entre otras localidades, en el cerro del Imán, Morón, con geodas tapizadas de cristales de la forma que representa la figura 113, y en El Escorial, hacia Robledohondo. Otras veces se presenta en estado de arenas negras que resultan del desecho de ciertas rocas en masa, como en los ríos Darro y Sil, en que está mezclado con algún oro nativo y se emplea para arenilla de salvadera. Ciertas playas de Canarias están constituidas casi exclusivamente de arena negra de magnetita, último resto de la destrucción de las rocas volcánicas de que formó parte, por ser más inalterable que los otros minerales que la acompañaban. Se extrae de la magnetita, cuando constituye masas, el mejor hierro, sobre todo para transformarlo en acero, explotándose en gran escala en Suecia y Rusia, donde suministra la mayor parte de dicho metal que se produce en estos países.

CLASE VIII

Fosfatos (1).

Son los fosfatos sales producidas merced a la sustitución total o parcial del hidrógeno del ácido fosfórico, $PhH^3O^4 = (PhO)H^3O^3$, por elementos electro-positivos.

Ningún fosfato es soluble en agua, pero sí en los ácidos, y añadiendo un par de gotas de su disolución nítrica a 1 cm³. de otra, también nítrica, de molibdato amónico, se produce un precipitado amarillo cristalino de fosfomolibdato amónico; reacción muy sensible y característica. Su disolución nítrica, algo diluída, da con la solución de una sal de plomo un precipitado blanco de fosfato plúmbico, que, fundido después de seco, forma al enfriarse un glóbulo blanco poliédrico.

De los tres fosfatos que vamos a estudiar, dos son anhidros (el apatito y la piromorfita), y uno, hidratado (la turquesa).

(1) Esta clase comprende también los arseniatos, antimoniatos, vanadiatos, niobiatos y tantalatos, de los cuales no hacemos aquí mérito, por comprender sólo minerales poco abundantes en la Naturaleza.

Tampoco podemos mencionar en esta obra más que los fosfatos de mayor importancia.

Apatito.—Cloro o fluo-fosfato cálcico, $Ca^5 Cl (PhO^4)^3$ o $Ca^5 F (PhO^4)^3$ Exagonal; ofreciendo generalmente un prisma y la base o un prisma, la base y una pirámide (figuras 114 y 115). Estos cristales son incoloros, blancos, violados, verde de espárrago (*esparraguina*), de lustre vítreo; $d = 5$; $p = 3,2$. La forma en que más abunda el mineral que describimos es la de masas de textura térrea y a menudo concrecionada (fig. 116), llamada *fosforita*: en este último caso ofrece un marcado lustre céreo y resinoso. Muchas, por la elevación de temperatura, producen una fosforescencia verdosa intensa, a lo que alude el nombre de esta especie. Es difícilmente fusible en los bordes, colorando la llama de rojo amarillento, y se disuelve con lentitud y sin efervescencia en el ácido nítrico.

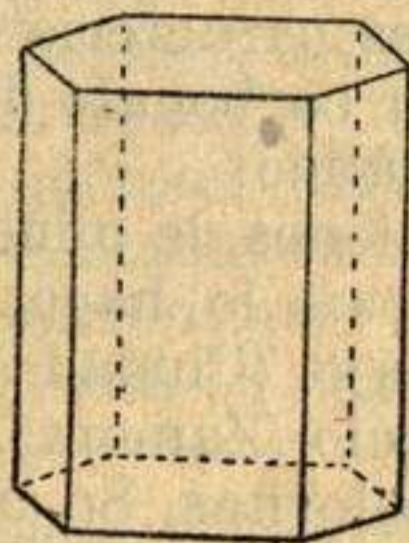


Fig. 114.

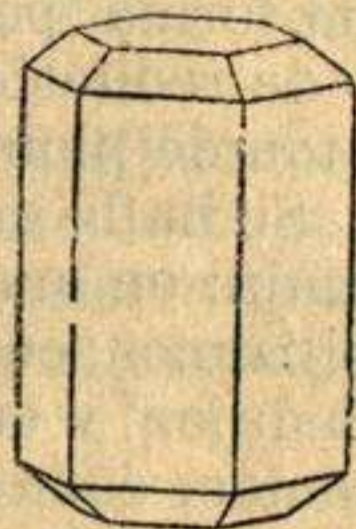


Fig. 115.

Los cristales diáfanos de apatito se encuentran en las grietas de los granitos y gneises; la esparraguina existe en unas rocas volcánicas alteradas, asociada al hierro oligisto, en Jumilla (Murcia), y, en general, al estado microscópico, en cristales diáfanos, se halla el apatito en casi todas las rocas eruptivas atravesando a los demás minerales que las constituyen.

La fosforita es un mineral importantísimo por su difusión y aplicaciones; abundan en algunas regiones de nuestro país, formando filones y vetas en rocas de diversas edades, especialmente en la provincia de Cáceres (el Calerizo de Cáceres, Zarza la Mayor, Ceclavín, Logroán, Trujillo, La Aliseda, etc.), donde aparece a través del granito y pizarras y calizas antiguas, hallándose cristales blancos o violáceos de apatito entre las oquedades de la fosforita. En Santa Eufemia (Ciudad Real) y en el castillo de Bélmez constituye vetas en la caliza, siendo notables los ejemplares de estas localidades por su lustre resinoso y bellas formas concrecionadas, que también suelen presentarse en La Aliseda (Cáceres) y en la Puebla de los Infantes (Sevilla).

Fig. 116.—Aspecto microscópico de la fosforita concrecionada.

Se emplea la fosforita en la fabricación de abonos artificiales, tan usados hoy en la agricultura, aunque no mucho, por desgracia,

todavía en nuestro país, para lo cual se transforma previamente en fosfato soluble, llamado *superfosfato*, por la acción del ácido sulfúrico.

Piromorfita, plomo verde.—Clorofosfato de plomo, $Pb^5 Cl (PhO^4)^3$. Exagonal, isomorfa de la especie anterior; concrecionada, compacta; color verde las más veces o pardo; lustre resinoso o adamantino; $d = 3,5$ a 4 ; $p = 6,5$ a 7 ; este elevado peso específico la distingue, desde luego, del apatito. Se funde con facilidad sobre el carbón mediante el soplete, tomando, al enfriarse, el glóbulo así producido una forma poliédrica característica de esta especie; fundida al fuego de reducción con carbonato de sosa y cianuro potásico, deja un botón de plomo metálico.

Se halla en los filones de minerales de plomo en Alemania y Bohemia; en nuestro país lo hace, entre otros, en Santa Eufemia, y bellísimos en Horcajo (Ciudad Real), en la mina «El Borracho» (Badajoz) y en Losacio (Zamora), donde la hay concrecionada y resinosa, como las fosforitas. Se utiliza para el beneficio del plomo, aunque la cantidad en que se encuentra no permite explotaciones importantes.

Calaíta, turquesa.—Fosfato hidratado de alúmina, $Al^2 PhO^4 2H^2O$, siempre con algo de cobre y hierro. Aparece en formas concrecionadas, arriñonadas; compacta; de un bello color azul celeste; $d = 6$; $p = 2,6$ a $2,8$. En el tubo cerrado decrepita, dando agua y ennegreciéndose; es fusible al soplete, si bien colora su llama de verde y se disuelve en los ácidos, tiñéndose de azul por el amoníaco. La mayor parte de la turquesa usada en joyería procede de Persia y se dice oriental.

Como turquesa vienen también de Persia unos trozos de marfil fósil teñido de azul por el fosfato de hierro (*odontolita* o turquesa de hueso); pero se distinguen fácilmente de la oriental porque la disolución no se tiñe como la de esta última.

CLASE IX

Silicatos (1)

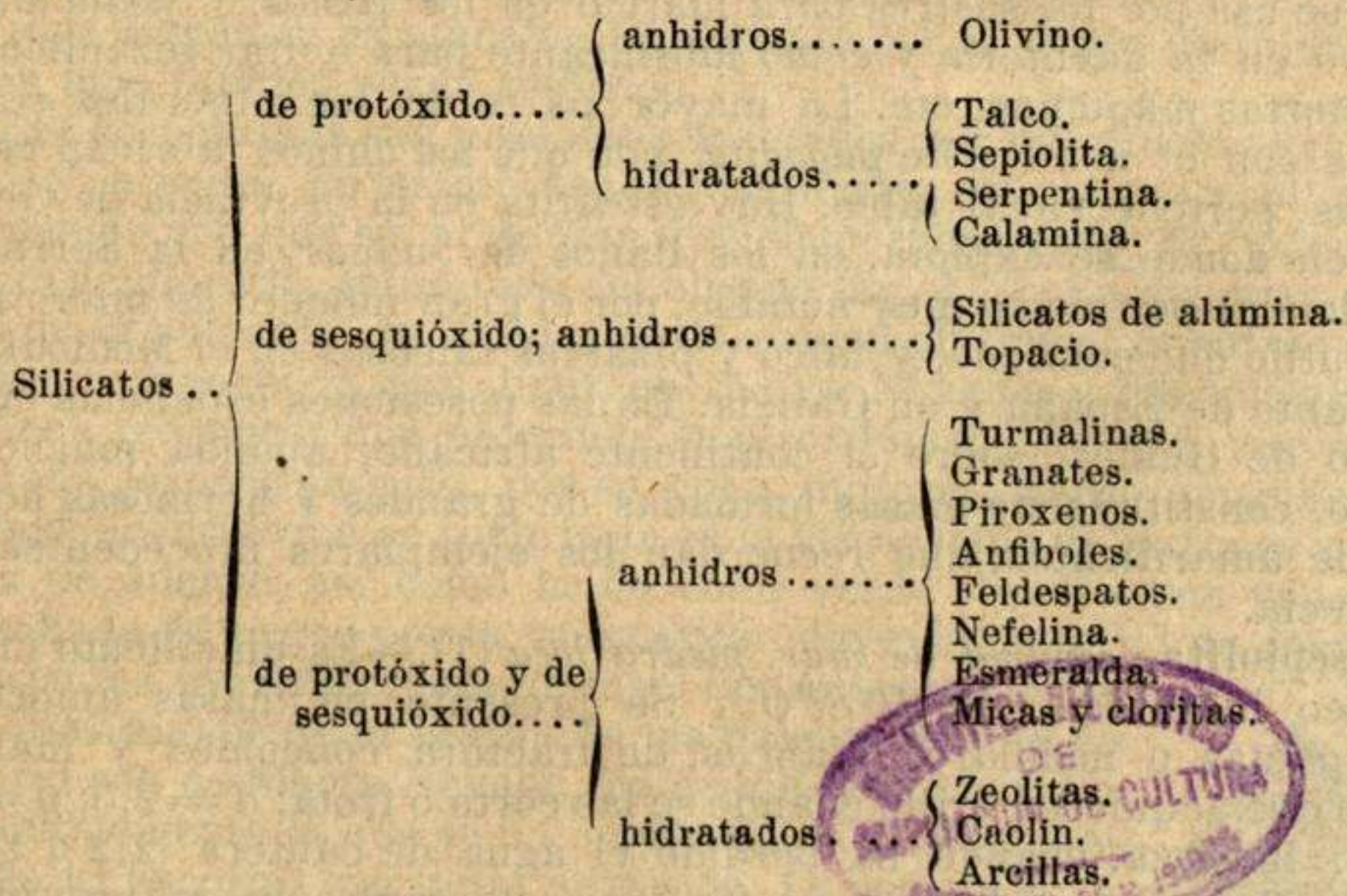
Son los silicatos minerales abundantes y de suma importancia desde el punto de vista geológico, porque forman, en unión del cuarzo, todas las rocas en masa y gran parte de las estratificadas. La sílice, combinándose con proporciones diversas de alúmina, sosa, potasa, magnesia, zinc y otros metales, da origen a muy numerosas especies de silicatos, que pueden, sin embargo, reducirse a unas cuantas familias. Algunos son descomponibles por los ácidos, dejando libre el hidrato silícico bajo la forma de gelatina o en copos sueltos, también gelatinosos; pero muchos de ellos, y de los más importantes, no son atacados ni aun por el agua regia, y es

(1) Prescindimos de los titanatos, por su menor importancia.

necesario, para reconocer y dejar libre la sílice que contienen, fundirlos con potasa cáustica o con carbonato sódico y tratar el producto de la fusión por ácidos diluïdos que disuelvan las bases. Introducidos en una perla de sal de fósforo fundida, las bases son también disueltas y queda nadando un *esqueleto de sílice*, como se le llama, poroso, pero de la misma forma que tenía el fragmento ensayado.

Los silicatos se clasifican según las bases que en ellos se encuentran, que son *sesquióxidos* de aluminio, hierro, cromo, etc., o *protóxidos* de hierro, magnesio, calcio, potasio, sodio, etc. Todos estos cuerpos pueden reemplazarse mutuamente.

Para dar una idea general de la composición de las familias comprendidas en este difícil grupo, presentamos a continuación el cuadro de las de que vamos a hacer mención, que son exclusivamente las más importantes, por su abundancia en el globo, y algunas por sus aplicaciones:



SILICATOS DE PROTÓXIDO

Olivino, peridoto.— Monosilicato magnésico-ferroso $(MgFe)^2 SiO_4$. Mineral rómbico, amarillo verdoso aceitunado, a lo que alude el nombre de olivino, de lustre vítreo intenso y fractura concoidea; $d = 6,5$ a 7 ; $p = 3,2$ a $3,5$. Infusible al soplete; descomponible fácilmente por el ácido clorhídrico, dejando sílice gelatinosa. Se halla en granos (cristales redondeados) en los basaltos de diversas localidades, como sucede en España en los de la provincia de Ciudad Real, de Olot (Gerona) y de Beteta (Cuenca), y en masas granulares en la Serranía de Ronda (Málaga). Es notable esta especie por formar parte esencial de algunas rocas eruptivas, no sólo de los basal-

tos, como acabamos de decir, sino también de otras más antiguas y de muchas piedras meteóricas, así como por su transformación en serpentina, importante mineral de que hablaremos después.

Talco.—Silicato magnésico hidratado, $Mg^3H^2Si^4O^{12}$. Cuando se presenta cristalizado, lo cual es muy raro, lo hace, al parecer, en el sistema rómbico o quizás en el monosimétrico, con aspecto exagonal, generalmente en rosetas; exfoliación fácil que produce hojas o láminas muy flexibles, pero nada elásticas; lustre nacarado y craso; color blanco o verde claro; hojoso (*talco*), compacto y finamente granular (*esteatita* o *jabón de sastre*); $d = 1$, que se citó como modelo en la escala (pág. 88), fácilmente rayable con la uña y muy suave al tacto; $p = 2,6$ a $2,8$. Con el soplete brilla mucho, haciéndose duro y exfoliándose; da agua en el tubo cerrado y es insoluble en los ácidos. Los ejemplares hojosos se parecen bastante a la mica, de que luego trataremos; pero se distinguen de ésta por no ser elásticos, por su brillo craso y su menor dureza. La esteatita se usa por los sastres para marcar en los paños, y reducida a polvo en la guantería y como lubricante para evitar rozamientos en ciertas máquinas, etc. La mayor parte de los minerales conocidos con el nombre de *pagodita*, con que los chinos fabrican estatuillas, pertenecen al talco. Hay esteatita en la provincia de Gerona, en donde se explota, en los llanos de Juanar, en la Serranía de Ronda, por cierto muy notable, por el gran número de microlitos de rutilo que contiene, y talco y pizarras talcosas en el Mediodía y Levante de España y en Galicia. En las posesiones españolas en el golfo de Guinea, sobre el continente africano, abunda mucho el talco, constituyendo masas formadas de grandes y hermosas hojas verde amarillentas, que recuerdan los ejemplares procedentes de Venecia.

Sepiolita, espuma de mar, piedra loca (1).—Es un silicato magnésico hidratado, $Mg^2H^2Si^3O^{10}$. Se presenta en masas amorfas, compactas o nodulares, blancas, de fractura concoidea y mates, pero que adquieren brillo cuando se las corta o frota; $d = 2,5$; $p = 2$; a su ligereza, cuando ha perdido el agua de cantera (1,2 a 1,6), alude el nombre vulgar de *piedra loca*, que recibe en la provincia de Toledo; se adhiere fuertemente a los labios húmedos. Con el soplete se ennegrece, endureciéndose, y se funden sólo los bordes delgados en un esmalte blanco; el ácido clorhídrico la descompone dejando sílice en copos. Suele ir acompañada de calcedonias y ópalos, caliza y carbonato magnésico. Existe en capas y venas en el cerro de Almodóvar o de Vallecas (Madrid) y en Cabañas de la Sagra (Toledo). La sepiolita de la primera localidad no es de grano tan fino como la segunda, y no adquiere por eso tan buen pulimento, por cuyo motivo no se usa más que en la construcción y para fabricar hornillos, por su resistencia a la acción del calor.

(1) El nombre de *magnesita* con que es frecuente designar impropriamente esta especie corresponde en realidad al carbonato magnésico, llamado también *giobertita* por Beudant.

La hermosa espuma de mar de que se hacen las pipas procede del Asia Menor. Este silicato, a diferencia del talco, se halla poco difundido en la Naturaleza, y yace en terrenos sedimentarios modernos, y no como éste entre antiguas rocas cristalinas.

Serpentina. — Silicato magnésico hidratado, $H^4(MgFe)^3Si^2O^9$, se presenta en masas, a veces considerables, de color verde oscuro, con vetas, de donde se deriva el nombre de la especie, por haberla comparado con la piel de las serpientes; verde amarillenta o blanco grisácea; su estructura es ordinariamente compacta; pero las hay pizarrosas, escamosas, laminares (*bastita*), fibrosas, de lustre sedoso y fibras finas, paralelas y flexibles (*crisotilo* o *asbesto de serpentina*), o gruesas (*metaxita*), agrupadas en esferolitas elípticas (*picrolita*), o sumamente finas y entrecruzadas, formando un fieltro (*papel, cuero y cartón de montaña*); las masas tienen fractura concoidea, astillosa o desigual; lustre craso, algo resinoso y sedoso en los ejemplares de estructura fibrosa; tenaz; $d = 3$ a 4 ; $p = 2,5$ a $2,7$. Con el soplete se pone incandescente y blanquea, fundiéndose apenas en los bordes más delgados; es atacable lentamente por el ácido clorhídrico, y con más rapidez por el sulfúrico.

Las serpentinas son productos derivados por hidratación del olivino, y, a veces, de los piroxenos y anfíboles, origen que explica la frecuencia con que se presentan pseudomórficas (pág. 84) por aumento de materia, sobre todo del olivino (fig. 117). La del gran macizo de la Serranía de Ronda es de origen olivínico, mientras que las del barranco de San Juan, en Sierra Nevada, y las de Galicia parecen reconocer una procedencia piroxénica. Hay una variedad llamada *serpentina noble*, por su color uniforme verde amarillento y translucencia que se suele usar en la fabricación de jarrones y objetos de adorno, así como la de color verde oscuro, con venas y manchada de negro por la magnetita, sirve de material de decoración en las construcciones de lujo. Las seis columnas del altar mayor de la iglesia de las Salesas Reales de Madrid son de Sierra Nevada, de donde debe proceder indudablemente la que se ha empleado en el Monasterio de El Escorial con tanta profusión. La mezcla de la caliza blanca y la serpentina verde (*oficalcia*) constituye una especie de mármol muy vistoso. Las fibras de asbesto serpentinoso, deshilachadas, dan una materia algodonosa, con la que se fabrican filtros y papel, tejidos y objetos incombustibles. El cartón de montaña, que por su aspecto y flexibilidad recuerda una materia vegetal, se halla en Vallecas, a modo de costuras, entre la sepiolita.

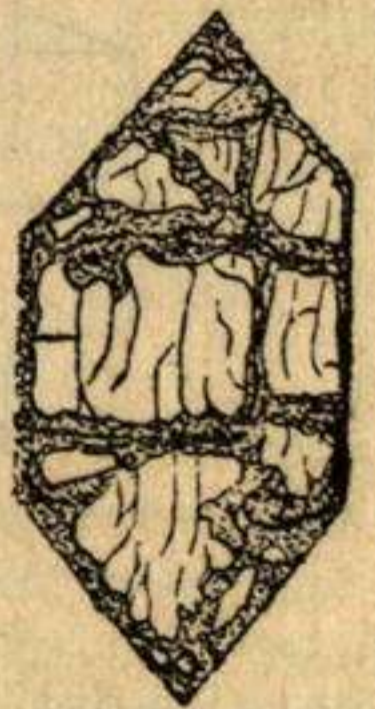


Fig. 117.

Calamina propiamente dicha. — Silicato de zinc hidratado $(ZnHO)^2SiO^3$. Cristaliza en el sistema rómbico y sus cristales son hemimórficos; pero ordinariamente se presenta compacta, con estructura concrecionada o térrea; lustre vítreo; incolora, gris amarillenta, verdosa, de tintas claras. Fosforece por frotamiento;

es piroeléctrica, cargándose de electricidades de signo contrario las dos extremidades de los cristales: $d = 5$; $p = 3,3$ a $3,5$. Es infusible, aunque por la acción del calor se hincha y decrepita, brillando mucho; en el tubo da agua, y sobre el carbón produce aureola de zinc, que toma color verde intenso después de calentarla con nitrato de cobalto. La calamina es soluble en el ácido nítrico, dejando una jalea de sílice. Preséntase en bolsones en la dolomita de Reocín (Torrelavega, Santander) y asociada a los carbonatos de zinc en las yacimientos de éstos, anteriormente citados, con los cuales se explota para la extracción del metal que contienen.

SILICATOS DE SESQUIÓXIDO

Silicatos de alúmina anhidros. — Una serie de estos silicatos, entre los cuales figuran como principales la *andalucita*, con su variedad *quiasolita* o *macla*, la *distena* y la *sillimanita*, con su variedad *fribolita*, y la *estaurolita*, aparecen muchas veces en antiguas rocas de origen sedimentario, que han sufrido cambios importantes bajo la influencia de penetraciones de otras rocas eruptivas o la de intensas presiones, y de aquí el nombre de *minerales metamórficos* que se les da. Se han formado en suspensión dentro de la roca, y por eso constituyen cristales completos. Es curiosa la estaurolita por sus frecuentes maclas de penetración, como la representada en la figura 118, a las que debe el nombre de *piedra de cruz*. Se hallan los silicatos en cuestión en las regiones pizarrosas de innumerables

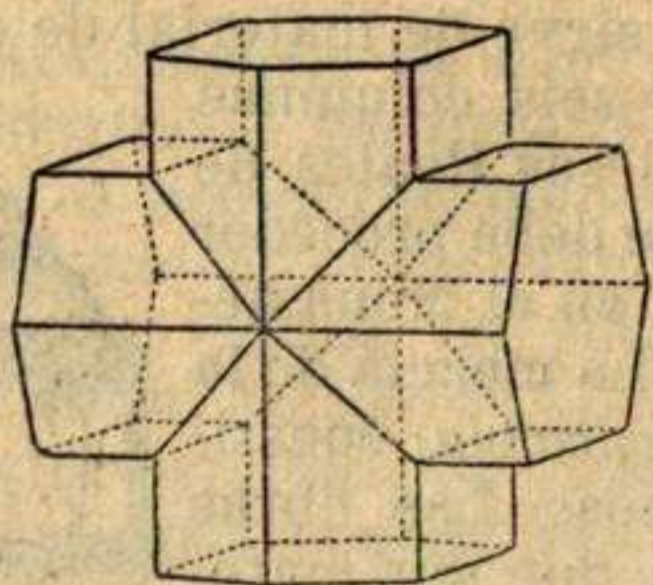


Fig. 118.

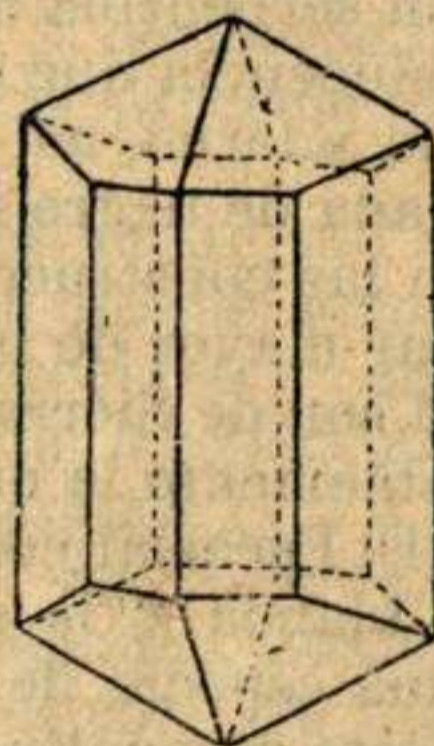


Fig. 119.

parajes del Antiguo y Nuevo Mundo, y en nuestro país en la Sierra de Guadarrama y de Gredos, en Galicia y Asturias, Sierra Morena y Sierra Nevada.

Topacio. — Silicato de alúmina fluorífero, $Al^2(F,OH)^2SiO^4$. Rómbico (fig. 119) en prismas ordinariamente estriados y aun acanalados verticalmente, con exfoliación fácil paralela a la base. Los cristales pueden ser incoloros o presentar colores distintos,

amarillo anaranjado, verde, azul; de lustre vítreo muy intenso; compacto y de fractura desigual; bacilar radiado; con frecuencia rico en inclusiones microscópicas líquidas; $d = 8$; $p = 3,5$ a $3,7$. Calentado en el tubo cerrado con sal de fósforo da ácido fluorhídrico que deslustra el vidrio; por la elevación de la temperatura adquiere mayor intensidad el color rojizo de algunas variedades (*topacio quemado*). Se halla en rocas antiguas en Durango (Méjico), Villarica y Rio Belmonte, en el Brasil, Sajonia y Montes Urales. Hoy apenas es usado en joyería, en la cual estuvo de moda hace años, merced a su brillo, vistosas coloraciones y gran dureza.

SILICATOS DE PROTÓXIDO Y DE SESQUIÓXIDO

Turmalinas.—Con este nombre se designa una familia muy natural de silicatos boríferos de aluminio y varias bases monóxidas (a veces hasta el número de doce), que cristalizan en el sistema exagonal, en prismas que tienen en conjunto facies triangular, aunque constan de nueve caras, marcadamente estriadas a lo largo; estos prismas están combinados con romboedros diversos y la base, siendo casi siempre hemimórficos y, por tanto, piroeléctricos (fig. 120). Con frecuencia, los cristales de estos minerales se reúnen en masas bacilares, fibrosas o fibroso-radiadas y aciculares. Su lustre es vítreo intenso. Las variedades coloreadas son altamente pleocroicas, absorbiendo casi todo el rayo ordinario cuando la luz las atraviesa normalmente al eje de simetría senaria, que es el de mayor desarrollo de sus cristales, en lo cual se funda el aparato de polarización que hemos estudiado con el nombre de pinzas de turmalina (pág. 96). La variedad negra, la más común, lleva el nombre de *chorlo negro*; las hay incoloras, rojas, verdes, amarillas, azules, colores que suelen estar dispuestos en zonas concéntricas en un mismo cristal o tiñendo de diverso modo sus dos extremos; $d = 7$ a $7,5$; $p = 2,9$ a $3,3$. Las turmalinas son inatacables por los ácidos.

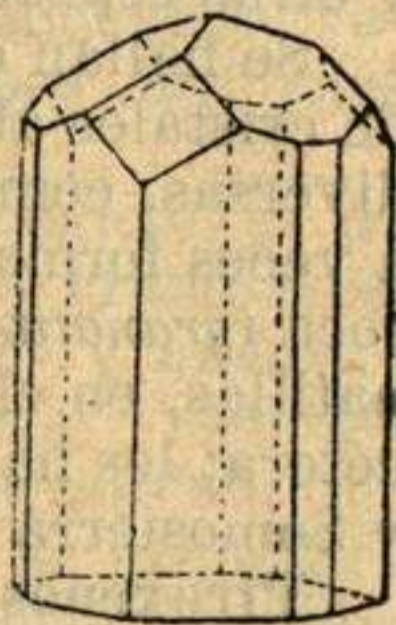


Fig. 120.

Es importante esta especie, desde el punto de vista geológico, por la frecuencia con que se presenta diseminada en las rocas cristalinas antiguas y en las gneísicas. En nuestro país abunda el chorlo negro en la Sierra de Guadarrama, en Galicia, en la provincia de Salamanca (Sequeros), etc. Algunas turmalinas negras de la Sierra de Guadarrama aparecen de color azul cuando se las talla en láminas delgadas. Las variedades de colores bellos se hallan en el Brasil, Estados Unidos, isla de Elba, etc., y, aunque muy poco, se usan en joyería.

Granates.—Con este nombre se designa una familia muy natural de silicatos de alúmina y de una base monóxida, que puede ser la

cal, el hierro o el manganeso, y en los que el aluminio está sustituido en unos por el cromo (granate crómico, verde esmeralda, *uwarovita*), y en otros, por el hierro al estado férrico. Todos cristalizan en el sistema regular, en rombododecaedros o en trapezoe-dros (figs. 121 y 122); $d = 6$ a 8 ; $p = 3,4$ a $4,3$. Lustre vítreo; translucientes o transparentes; frecuentemente de color rojo intenso, amarillento rojizo, y más raro, el verde cromo y blanco verdoso.

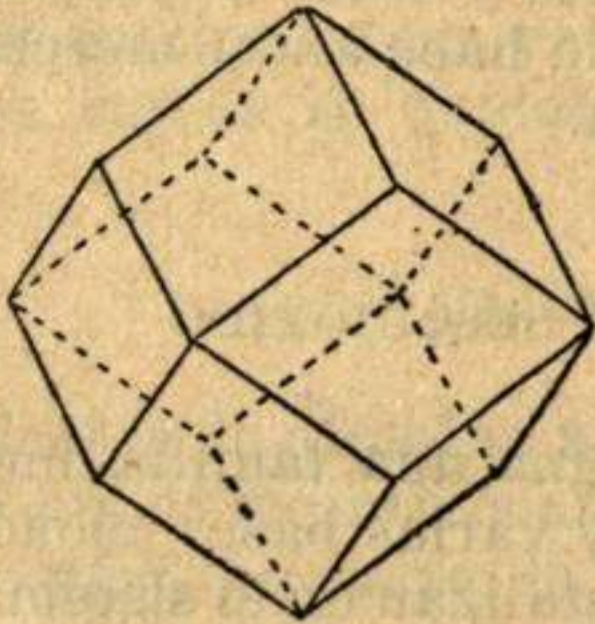


Fig. 121.

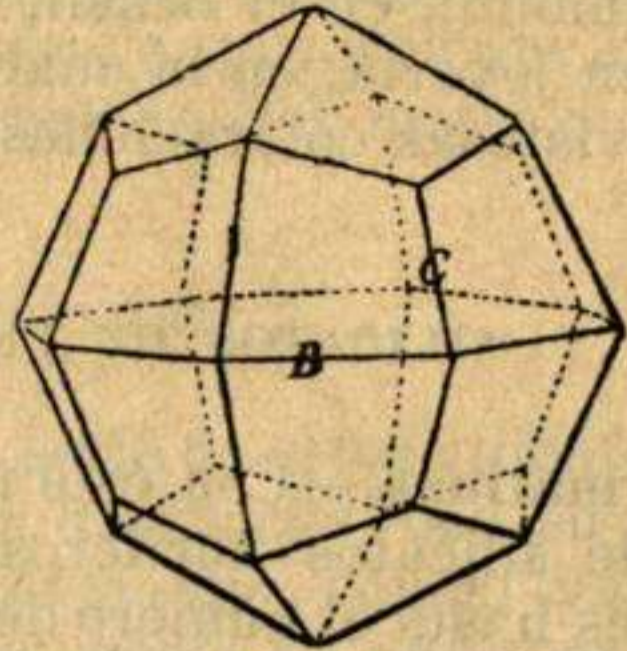


Fig. 122.

Son más o menos fusibles, según la proporción de hierro que contengan, y apenas atacables por los ácidos.

El granate aluminico magnésico, de color rojo muy intenso, llamado *piropo*, se usa en joyería, y las variedades comunes de estas y otras especies duras del mismo grupo sirven como esmeril.

Se hallan estos minerales diseminados, las más veces, en estado de cristales abundantes y completos, de pequeño tamaño, en rocas diversas, como el gneis, pizarras, serpentinas y calizas granulares; a veces forma el granate masas compactas y hasta una verdadera roca (*granatita*). En la Sierra de Guadarrama; Barranco de las Granatillas, en el cabo de Gata; Fuente de los Jacintos, en Toledo, etcétera; los hay cristalizados, y en masa, en El Escorial, Horcajuelo y Somosierra (Madrid), y en Burguillos (Badajoz).

Piroxenos.—Son minerales esenciales de muchas rocas eruptivas y de gran importancia en la composición de algunas cristalinas estratificadas; están constituidos por mezclas isomorfas de bisilicatos de una base monóxida, que es la magnesia, la cal, ésta predominante, y el protóxido de hierro; ofrecen una exfoliación prismática bien marcada, con un ángulo de 87° , próximamente, y carecen de pleocroísmo. La densidad de los minerales de esta familia oscila entre 3 y 3,5, y su dureza, entre 5 y 6. El único ácido que los ataca, y esto con dificultad, es el fluorhídrico; son fusibles al rojo. Unos cristalizan en el sistema rómbico, y la mayoría, en el monosimétrico (fig. 123), entre los cuales figuran los más importantes y frecuentes por formar parte de rocas diversas. El *diópsido* es un piroxeno cálcico-magnésico, monosimétrico, generalmente en masas granulares de color verde, que abunda en algunos puntos de la Sierra de Guadarrama (Puerto de Malagón, en El Escorial, Roble-

do de Chavela, etc.). La *augita* o piroxeno negro, también monosimétrico, silicato aluminico férrico de calcio, magnesio y hierro al estado ferroso, es el más importante de todos; preséntase bajo la forma de cristales negros prismáticos, cortos (fig. 123), aplastados las más veces y constituyendo parte esencial de muchas rocas eruptivas antiguas y modernas, o sea volcánicas. Por descomposición de estas rocas se hallan, a veces, abundantes cristales sueltos de augita, como sucede en las faldas del Vesubio, en Olot (Cataluña), y en las islas Canarias.

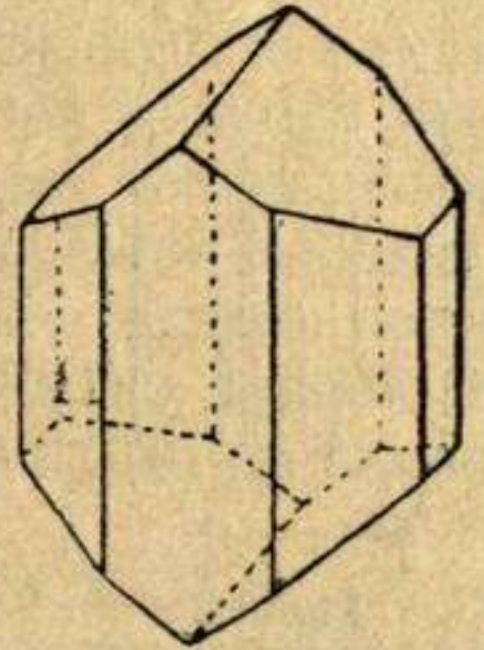


Fig. 123.

Anfiboles.—Forman este grupo un conjunto de silicatos fundamentales de muchas rocas, que sólo difieren en su composición de los piroxenos por dominar en aquéllos el magnesio sobre el calcio. También se distinguen de los piroxenos por el ángulo de su exfoliación prismática, que es de 124° , siendo pleocroicos en secciones delgadas a diferencia de éstos, particularmente los que poseen colores oscuros. El peso específico de estos minerales oscila alrededor de 3, y su dureza es de 5,5. Son inatacables por los ácidos; por fusión se transforman en piroxenos. Como éstos, los hay rómbicos y monosimétricos; los segundos, que son los más importantes, no ofrecen gran variedad de caras, siendo frecuente la combinación que representa la figura 124.

Las especies comprendidas en este grupo, prescindiendo de varias poco frecuentes, se pueden clasificar en tres tipos: anfíboles blancos, verdes y negros.

El *anfíbol blanco* o *tremolita* (silicato magnésico-cálcico), es de estructura bacilar y se halla en las calizas o dolomías granulares; son variedades de él muchos *asbestos* y *amiantos* formados de fibras rígidas los primeros, y sedosas y flexibles los segundos. El amianto de anfíbol, que es el más frecuente en nuestro país, se encuentra en Cangas de Onís (Asturias), en Sierra Bermeja (Málaga), etc., y aunque no es tan fino, sedoso y de tan buena fibra como el de serpentina, sirve para fabricar tejidos incombustibles, filtros, mechas, telones de teatro, etc.



Fig. 124.

El *anfíbol verde* o *actinolita* (silicato magnésico-ferroso-cálcico) está constituido de fibras verdes y existe en El Escorial, Sierra Nevada, etc. Por último, la *hornblenda* o *anfíbol negro* corresponde por su composición a la augita y forma masas fibroso laminares o cristales negros o verde oscuros, prismáticos, que se hallan en El Escorial, Puertollano, etc., siendo la variedad más abundante y de más importancia litológica.

Piroxenos y anfíboles son dos series paralelas que se corresponden término a término; pero por más que las analogías de com-

posición química y de forma geométrica sean grandísimas, los dos grupos se diferencian algún tanto por predominar el primero en las rocas volcánicas, y el segundo, en las cristalinas antiguas. Además, los piroxenos se hallan frecuentemente en las escorias artificiales y en los meteoritos, cosa que no sucede nunca a los anfíboles, aparte del valor del ángulo de exfoliación mencionado que distingue a unos de otros. En vista de tal conjunto de analogías y diferencias, se ha supuesto que sólo deben diferir los dos grupos por la disposición particular en cada uno de la molécula cristalina.

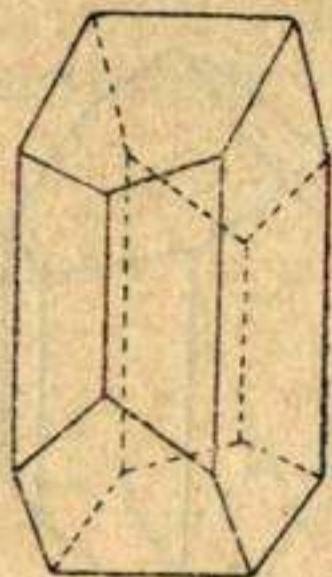


Fig. 125.



Fig. 126.

Feldespatos.—Esta familia de silicatos ofrece mayor importancia geológica que todos los restantes minerales de la clase, por constituir los elementos fundamentales de la mayoría de las rocas en masa. Son silicatos de aluminio con potasio, sodio, calcio y, rara vez, bario; cristalizan en los sistemas monosimétrico y asimétrico, en formas muy parecidas, con dos direcciones de exfoliación bien marcadas; $d = 6$; $p = 2,5$ a $2,7$; cuando puros, son incoloros o blancos y poseen lustre vítreo. Las hojuelas muy finas se funden con el soplete, coloreando la llama y dando un vidrio o un esmalte. Son los minerales que por su descomposición contribuyen en mayor parte a la formación de las arcillas y del caolín.

En atención a su forma cristalina se dividen los feldespatos en *monosimétricos*, llamados también *órticos*, por tener las dos exfoliaciones en ángulo recto, y *asimétricos* o también *clínicos*, a causa de la inclinación (87°) de dichas exfoliaciones.

Corresponde a los primeros la *ortosa* (fig. 125), silicato aluminico potásico, $K Al Si^3 O^8$. Se funde con dificultad en un vidrio opaco; únicamente el ácido fluorhídrico ataca este mineral. Abunda en los granitos, pórfidos y gneis, como sucede en nuestro país en las sierras de Guadarrama y Gredos, donde constituye unas veces masas hojosas, opacas, de color blanco o rosado, perfectamente caracterizadas por sus dos exfoliaciones normales entre sí, y otras veces cristales de facies cuadrangular o deprimidos, con frecuencia maclados (fig. 126). En Ceilán y otros puntos existe una ortosa transluciente y de reflejos nacarados que se llama *piedra de luna*, y se usa en joyería. En la composición de ciertas rocas volcánicas entran cristales de una variedad de ortosa muy vítrea denominada *sanidino*.

Los feldespatos asimétricos, llamados colectivamente *plagioclasas*, cristalizan en formas muy parecidas a las de la ortosa (figuras 127 y 128); casi siempre macladas (fig. 129); repitiéndose esta macla en individuos lamelares en número de 40 a 50, origina una

serie de canales característicos de los feldespatos asimétricos. No hay más que dos pagioclasas fundamentales: la *albita*, silicato aluminico sódico, $Na Al Si^3 O^8$ y la *anortita*, silicato aluminico cálcico, $Ca Al^2 Si^2 O^8$; éstas, por la mezcla de su materia en proporciones determinadas, producen los demás feldespatos asimétricos sódico-cálcicos conocidos con los nombres de *oligoclasa*, *labrador* y *andesita*. El segundo se llama así por los bellos ejemplares que de él se hallan en la costa del Labrador en la América del Norte, en grandes masas hojosas, dotadas en ciertas direcciones de reflejos verdes, rojos y azules, que hacen se use esta variedad en joyería. Estos feldespatos, y particularmente la oligoclasa y el labrador, forman parte esencial de gran número de rocas en masa. La albita se encuentra en bellos cristales maclados en los Alpes, y la anortita, en masas cristalinas y cristales en el Vesubio (1).

Nefelina.—Silicato aluminico-sódico-potásico, $Na K Al Si O^4$.—Exagonal, en prismas con la base; blanca y con lustre vítreo; en masas cristalinas verdosas o rosadas, y entonces de lustre muy craso (*eleolita*); $d = 5,5$ a 6 ; $p = 2,6$. Se funde con el soplete en un

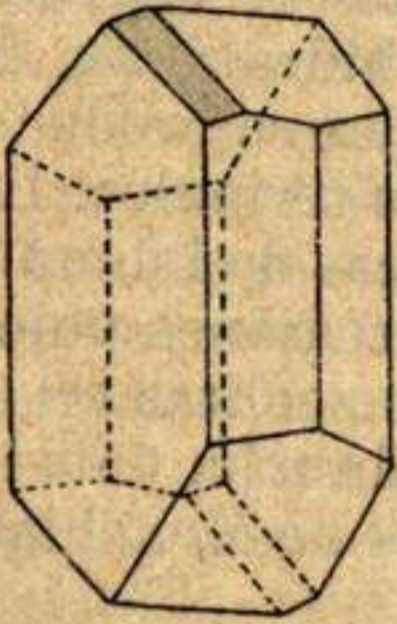


Fig. 127.

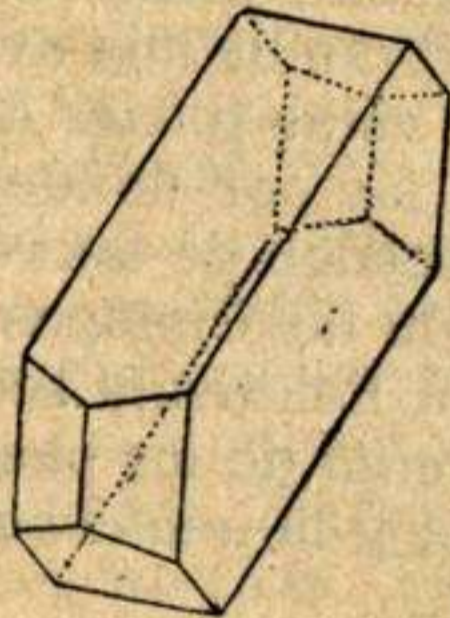


Fig. 128.

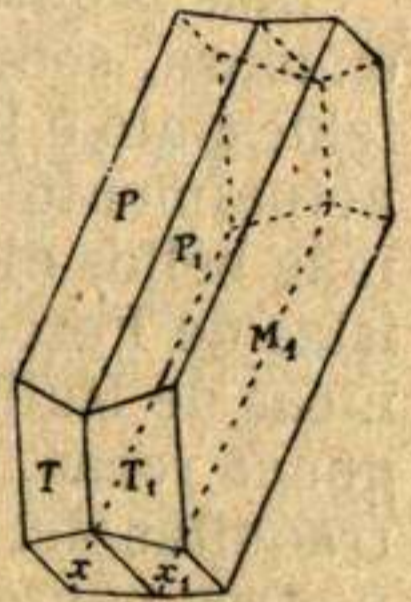


Fig. 129.

vidrio lleno de burbujas y se descompone con el ácido clorhídrico, dejando libre sílice gelatinosa. Constituye parte esencial de ciertas rocas eruptivas, así antiguas (sienitas eleolíticas) como modernas (basaltos nefelinicos, como lo son en nuestra Península los de la Mancha, Serranía de Cuenca y Galicia), y la eleolita es un elemento constitutivo de las sienitas de la Sierra de Monchique (Portugal).

Esmeralda.—Silicato de aluminio y glucinio, $Gl^2 Al^2 [Si O^3]^6$. Se halla en prismas exagonales con la base; la más estimada es de color verde intenso (*esmeralda*), debido a una pequeña cantidad de cromo; pero la hay incolora, blanca y, sobre todo, verdoso-amari-llenta (*berilo*) y verde azulada (*agua marina*); lustre vítreo; transparente o transluciente; fractura concoidea o desigual; $d = 7,5$ a 8 ;

(1) A continuación del grupo de los feldespatos suelen estudiarse las sustancias vítreas cuya composición química corresponde a una materia feldespática no individualizada. Mas como estos vidrios están llenos de partículas cristalizadas y constituyen, en suma, rocas en vías de formación, aplazamos su estudio para cuando tratemos de las rocas traquíticas.

$p = 2,67$ a $2,76$. Es difícilmente fusible en los bordes e inatacable por los ácidos. El berilo se encuentra en el granito de Miraflores de la Sierra y en diversos puntos de la provincia de Pontevedra, donde constituye a veces enormes cristales. En América son notables las esmeraldas de Muso, cerca de Bogotá (Nueva Granada), descubiertas por los españoles en el siglo XVI, y los berilos de cerca de Valparaíso. En los Estados Unidos se han hallado berilos gigantes, que formaban cristales de más de cuatro pies de largo. La esmeralda, sobre todo la de color verde intenso, se aprecia mucho en joyería; el agua marina sólo cuando es bien limpia tiene aceptación.

Zeolitas.—Con este nombre se designa un grupo de silicatos aluminico-hidratados de calcio, potasio, bario o sodio, bien cristalizados, incoloros, blancos o rojos, que tienen la propiedad de fundirse con ebullición mediante el soplete: son además descomponibles por los ácidos, dejando sílice gelatinosa. Su densidad oscila alrededor de 2,2, y la dureza, 3,5 y 5. Como silicatos hidratados que son, todos dan agua cuando se los calienta en un tubo de vidrio.

Las zeolitas se encuentran rellenando las cavidades de las rocas en masa, sobre todo, y derivan de una evolución con hidratación del feldespatos o la nefelina de estas rocas. Algunas de ellas se producen actualmente en las cañerías por donde pasan aguas termales. Los más bellos ejemplares proceden de las rocas volcánicas de Islandia, islas de Feröe y también de las Cíclopes y de otras regiones volcánicas de Italia. En nuestra Península se han hallado zeolitas en algunas rocas, como la *natrolita* de los basaltos de la Mancha y de las traquitas del cabo de Gata y la *analcima* de las rocas de Monchique y otros puntos en Portugal.

Micas.—Forman éstas una familia muy natural y rica en especies sumamente abundantes, escamosas, hojosas o laminares, exfoliables con suma facilidad en el sentido de estas láminas u hojas,

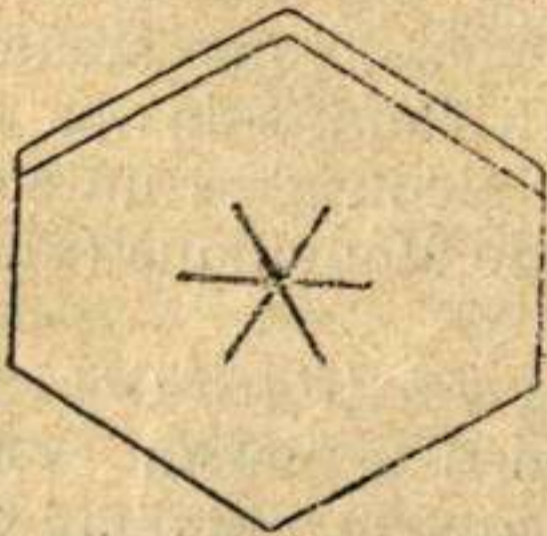


Fig. 130.

las cuales gozan de la propiedad de ser elásticas. Aunque poseen una composición muy variable, son silicatos aluminico-alcálicos, con más o menos hierro, magnesio o calcio y a veces litio. Cristalizan en el sistema monosimétrico, aunque con facies exagonal, y sus propiedades ópticas difieren, pues mientras unas se muestran aparentemente uniáxicas, las otras son claramente biáxicas. Cuando se comprime una lámina de mica con un punzón, se producen alrededor del punto compri-

mido seis radios en estrella que corresponden a la simetría del cristal (fig. 130).

El lustre de estos minerales, siempre nacarados, es muy intenso, a lo que alude el nombre que llevan, que deriva del verbo latino *mico, as, are*, que significa brillar; los colores varían notablemente, pues las hay blanco de plata, amarillo de oro, verdes, rosa y

negras; de este último color cuando contienen hierro; $p = 2,78$ a $3,7$; d media = $2,5$, dejándose cortar con un cuchillo. En el tubo cerrado desprenden una pequeña cantidad de agua más o menos cargada de ácido fluorhídrico. Con el soplete, unas micas se funden con más facilidad que otras. Todas son poco atacadas por el ácido clorhídrico; habiendo alguna, las ferromagnéticas, que se descomponen por el ácido sulfúrico hirviendo, quedando la sílice en escamas de la misma forma que tenían las del mineral ensayado.

Abunda la mica en todas las regiones graníticas y de rocas antiguas, en cuyos materiales entra como elemento esencial; tal sucede en España en las sierras de Guadarrama, Gredos, Galicia, etcétera. Las grandes láminas de este mineral procedentes de Siberia se usaban como vidrios en la marina rusa.

Cloritas.—Estos minerales verdes, a lo que alude su nombre, de aspecto análogo al de los anteriores, se presentan comúnmente en escamas o pequeñas láminas flexibles, no elásticas como las de las micas; en ocasiones, en masas pizarrosas; a veces compactas y aun térreas. Son silicatos hidratados de alúmina, magnesia y hierro, pero sin potasa; la carencia de este álcali y la falta de elasticidad en sus láminas distinguen perfectamente las cloritas de las micas. Unas son exagonales, y otras, monosimétricas. Todas dan agua en el tubo cerrado, y son, en general, difícilmente fusibles y muy poco descompuestas por los ácidos; $d = 2$ a 3 ; $p = 2,6$ a $2,9$. Abundan en las rocas en masa como productos derivados de otros minerales (piroxenos, micas, etc.). En el Extranjero, los más bellos ejemplares proceden del Tirol y de los Montes Urales; en España se conocen de El Escorial, Hiendelaencina, Sierra Nevada y Galicia, donde existe la clorita en masas escamosas. Estas hojuelas, así como las de la mica, en virtud de su inalterabilidad, se encuentran sueltas en las tierras que resultan de la descomposición de antiguas rocas de que formaron parte.

Caolín, kaolín, tierra de porcelana.—Silicato de alúmina, $Al^2 H^4 Si^2 O^9$. Rara vez en pequeños cristales monosimétricos y en forma de láminas blancas nacaradas, de contornos exagonales y translucientes (*nacrita*) y más frecuentemente compacto (*litomarga*) o térreo, seco al tacto y poroso (*caolín*), y en este último caso mezclado ordinariamente con restos de feldespato, de quien es casi siempre un producto evolutivo; $d = 1$; $p = 2,2$. Infusible con el soplete; da agua en el tubo; poco atacable por el ácido clorhídrico, lo es completamente por el sulfúrico, dejando sílice libre. Forma depósitos en el seno de las rocas feldespáticas de Bohemia, Sajonia, Inglaterra, etc., y en nuestro país en la Sierra de Guadarrama (términos de Galapagar y Torrelodones, Puerto del Paular, etc.), en Galicia, en Sierra Morena y en la Puebla de Montalbán (Toledo); en otras localidades se halla como producto de alteración de areniscas feldespáticas, como sucede en Valencia, Logroño y Burgos. Su nombre procede del dado por los chinos, que fueron los primeros en usarlo para la fabricación de la porcelana, mezclándolo con otros

minerales en polvo, particularmente la ortosa, el cuarzo y el yeso, que comunican transparencia a la pasta resultante después de la cocción (1).

Arcillas.—Bajo este dictado se conocen varios minerales térreos, ligeros, que son esencialmente silicatos de alúmina hidratados, procedentes de la alteración de diversos silicatos y, sobre todo, de los feldespatos, piroxenos, anfíboles y micas; están mezclados casi siempre con mayor o menor cantidad de restos de los minerales primitivos sin descomponer, y aprisionan, además, cuarzo, caliza, etcétera, como interposiciones. Las arcillas más puras son untuosas al tacto, se adhieren fuertemente a los labios húmedos, exhalando olor a tierra mojada, y todas son descompuestas por el ácido sulfúrico.

Las arcillas se dividen en dos grupos: *sedimentarias* y *químicas* o en depósitos. Las primeras, atendiendo a sus aplicaciones, se subdividen en dos series: una de las *arcillas plásticas*, que forman con el agua una pasta dúctil y moldeable (a cuyo grupo pertenecen también en realidad los caolines antes estudiados), y otra en que se comprenden las arcillas *no plásticas* o *esméticas*, las cuales gozan en alto grado de la facultad de absorber las grasas, y de aquí su uso para quitar manchas y desengrasar las lanas, por lo que se las da el segundo nombre citado y los de *tierra de batán* o *de bataneros*. Lo mismo en uno que en otro grupo, pero especialmente en el primero, hay arcillas que, por carecer casi en absoluto de hierro y calcio, son infusibles y se emplean para la fabricación de crisoles, muflas para hornos de copela, etc., denominándose *refractarias*.

La *marga* consiste en una mezcla de arcilla y caliza en la que la última entra en una proporción que varía de 25 a 50 por 100; cuando la marga contiene, además, arena, se llama *greda*. En ambas substancias, la materia interpuesta hace perder su plasticidad a la arcilla. Las margas se endurecen a veces hasta constituir substancias tan compactas que sirven como piedra de construcción. Una variedad de éstas es la llamada *caliza* o *piedra litográfica*, de fractura concoidea y grano muy fino, que se utiliza por eso para la aplicación que le da nombre, y existe en nuestro país en Guipúzcoa, Vizcaya y Asturias. Los ocres amarillos o rojos (*almagres*) son arcillas más o menos ricas en óxido de hierro, no plásticas y fusibles con el soplete; abundan mucho y se emplean en la pintura de puertas, ventanas, etc.

Además de estas arcillas sedimentarias que constituyen bancos o capas de mayor o menor espesor en formaciones de distintas edades, hay otras que son las llamadas *químicas*, porque se presentan como productos evidentes de la acción de aguas minerales; se dis-

(1). Según la estadística de 1898, de las provincias de Burgos, Logroño y Valencia se extrajeron 5.500 toneladas de caolín, que valieron 28.000 pesetas. En otras muchas provincias se ha obtenido también esta substancia en años anteriores; pero en la estadística de 1907, la producción se redujo muchísimo.

tinguen por su gran pureza y por la finura de su grano; por lo demás, no alcanzan la importancia que las sedimentarias, a no constituir venas considerables. El tipo de estas arcillas es la *halloysita*, informe, compacta, de fractura concoidea o escamosa, lustre vítreo o céreo, color blanco lechoso, verde o amarillo, transluciente muchas veces; se halla en Valdemorillo, donde se explota para fabricar loza; también pertenece a las arcillas químicas la que forma la caja de un filón de hierro del Pedroso de la Sierra (Sevilla) y otra cuprífera (*alofana*) de Villagarcía (Badajoz).

Las arcillas sedimentarias abundan en todas partes y proporcionan al hombre una de las materias más útiles del reino mineral; tal sucede en nuestro país, sobre todo en las dos Castillas, siendo notables como refractarias las de Zamora, esmécticas las de Segovia (*tierra de Segovia*), y las de gran parte de la Mancha y partido de Chinchón como plásticas, que se emplean para fabricar los gigantes de la alfarería, las grandes tinajas para vino y aceite, y las de Andújar, con que se hacen las célebres alcarrazas; las de la Tierra de Barros, en Extremadura, región muy productiva en cereales, y las de otras muchas localidades. La pasta de la loza se hace con arcilla plástica pura, y sobre todo exenta de hierro, llevando el nombre de *mayólicas* las obras esmaltadas y pintadas; para el trabajo de alfarería ordinaria no importa que las arcillas sean más ferruginosas, y por eso, aunque se fabriquen con ellas objetos muy artísticos, se los conoce siempre con el nombre de *barros*, y si la cocción ha tenido lugar a una temperatura muy elevada, resulta una pasta sumamente dura que lleva el nombre italiano de «terra cotta», muy empleada en otro tiempo en la decoración de edificios y fabricación de vasos. Las arcillas plásticas más impuras se usan en la industria de los ladrillos, tejas, etc., y como argamasas para trabajar materiales de construcción, mientras que las más puras, como las de los barros de Málaga y las de los alrededores de Sevilla, se emplean para modelar.

CLASE X

Minerales de origen orgánico.

Comprende esta clase los minerales cuyo elemento dominante es el carbono y que reconocen en su mayoría un origen vegetal. Todos ellos arden con más o menos facilidad con el dardo del soplete y deflagran vivamente cuando se les calienta con nitro fundido, dando un producto que hace efervescencia con los ácidos, por ser un carbonato.

Siendo la composición de estas substancias sumamente compleja, y careciendo casi todas de forma y estructura cristalina, no se pueden aplicar a su característica y reconocimiento las reglas y procedimientos que sirven para distinguir las demás especies minerales.

Petróleo, aceite mineral.—Bajo la denominación general de petróleo se incluye una serie de compuestos hidrocarbonados líquidos, desde uno muy flúido e incoloro (*nafta*), hasta el amarillo, amarillo rojizo o pardo, más o menos viscoso (*petróleo*). La densidad de esta substancia oscila entre 0,6 y 0,9; tiene color propio y es inflamable, dando bastante humo al arder. Está constituida por la mezcla de carburos de hidrógeno diferentes en composición, densidad y punto de ebullición. Por destilación produce aceites ligeros de petróleo, naftas propiamente dichas, que disuelven los betunes y resinas, así como el azufre, fósforo, etc., y aceites pesados o *parafinas*, de color amarillento más o menos rojizo. Las naftas se convierten con el tiempo en petróleos pesados y de color más subido.

Se halla esta substancia en rocas sedimentarias de diversas edades, con frecuencia asociada a materias bituminosas y en la proximidad de restos vegetales, como ocurre en los yacimientos conocidos ya de antiguo del mar Caspio, Persia e islas de Zante (Grecia). En ellos mana el petróleo, mezclado con agua o puro y acompañado de carburos de hidrógeno gaseosos y más o menos espontáneamente inflamables, por las grietas de las rocas; pero los grandes depósitos que suministran el producto que se usa en casi todo el mundo son los de América del Norte (Estados de Nueva York, Pensilvania y Ohio) y algunos de Rusia, de donde se extrae esta substancia por medio de pozos. Los pequeños depósitos de petróleo proceden de la descomposición de las materias orgánicas; pero los colosales ahora mencionados no pueden explicarse así, y se ha supuesto sean producidos en las profundidades por la acción del agua sobre masas metálicas carburadas, que originaría óxidos metálicos e hidrocarburos.

Para su empleo en el alumbrado es necesario refinar el petróleo natural, separando de él, por destilación, los carburos de hidrógeno más ligeros e inflamables, que constituyen lo que se conoce en el comercio con el nombre de *éteres de petróleo*, y los más pesados, o parafinas, para entregar al consumo doméstico las porciones medias. Las naftas obtenidas por destilación tienen numerosas aplicaciones industriales, fundadas en su poder disolvente antes indicado.

Asfalto, betún de Judea.—Es una mezcla de carburos de hidrógeno, petróleo y compuestos resinosos, que se presenta en masas de color negro píceo, fractura concoidea, lustre craso, olor bituminoso, sobre todo cuando se le frota o calienta; $d = 2$; $p = 1$ a $1,2$; funde a 100° y se inflama fácilmente; se disuelve por completo en el petróleo, y deja en el éter un residuo que es, a su vez, soluble en el aceite de trementina. Esta substancia fué conocida desde la más remota antigüedad, especialmente los nódulos que flotan en las aguas del mar Muerto y van a parar a sus orillas. En la isla de la Trinidad (Antillas) hay un lago de asfalto que tiene 2 Km. de diámetro y que en tiempo frío se puede atravesar a pie. En España se

halla impregnando diversas rocas sedimentarias, especialmente areniscas y calizas, en la provincia de Alava, en Torrelapaja (Aragón), alrededores de Soria y Sigüenza. Se destila para extraer el gas del alumbrado y el petróleo, y mezclado con arena, o mejor con polvo y fragmentos de caliza bituminosa, sirve para pavimentos en países fríos. Los antiguos egipcios lo usaban en el embalsamamiento de cadáveres, en cuyo arte llegaron a una asombrosa perfección.

Ambar, succino.—Es una resina fósil, y, por tanto, un hidrocarburo oxigenado, $C^{10}H^{16}O$. Constituye masas informes y gutulares, que con frecuencia encierran en su interior insectos en un estado de perfecta conservación (figura 131); de color blanco amarillento, amarillo de miel, rojizo, rojo obscuro y a veces estos diversos colores en un mismo trozo; transparente, transluciente u opaco; lustre resinoso; por frotamiento se electriza negativamente y desenvuelve un olor agradable; se funde entre los 250° y 300° y arde con llama blanca, produciendo mucho humo y un olor aromático propio; $d = 2$ a $2,5$; $p = 1$ a $1,1$. Flota en el agua del mar y se hunde en la dulce. Por destilación seca en un tubo de ensayo da agua, gotas de una brea parda y agujas blancas de ácido succínico.



Fig 131.

El ámbar procede de plantas coníferas extinguidas, y en realidad consiste en una mezcla de una resina insoluble dominante, otra soluble en el alcohol y en el éter, que existe en muy pequeña cantidad, y ácido succínico en proporción variable de 2,50 a 6 por 100. Siendo una mezcla de varias substancias, presenta propiedades algo diferentes según la cantidad en que éstas entran en su composición.

Se halla el ámbar en la costa del mar Báltico y en Sicilia (Pietralia); en nuestro país hay resinas fósiles en Utrillas (Teruel) y Asturias, pero no son verdadero ámbar, pues ninguna de ellas desprende ácido succínico por destilación seca. Usase el ámbar en la fabricación de boquillas y pipas para fumar, botones, cuentas para collares y aun objetos más voluminosos, merced a conocerse ya el medio de soldar los fragmentos, convirtiéndolos en masas grandes. Los antiguos empleaban los trozos de menor valor de ámbar y otras resinas fósiles para quemarlos, perfumando con ellos las habitaciones. También sirven para fabricar un barniz de laca muy fino.

Lignito.—Llámase así a un carbón mineral de estructura compacta y fractura concoidea, leñosa en unos y hojosa (*lignito papiáceo*) o térrea en otros, pero las más veces se reconoce bien en él, a la simple vista, la fibra vegetal, de donde viene el nombre de lignito; el color es generalmente pardo y en algunos negro intenso; $p = 1,2$ a $1,4$. Arde con llama bastante clara sin hincharse ni soldarse unos fragmentos a otros, dejando como residuo un carbón

compacto de la misma forma que tenía el trozo de lignito; por destilación seca da los siguientes productos: gases combustibles, que pueden ser aprovechados en el mismo hogar, *espíritu de madera* (alcohol metílico impuro) con algo de *ácido piroleñoso* o vinagre de madera (ácido acético impuro); brea vegetal y carbonato amónico; en resumen: el lignito da por destilación seca los mismos productos que la madera. Colora de pardo la solución de potasa cáustica.

Se halla en capas o bancos entre arcillas y arenas pertenecientes a terrenos secundarios y terciarios en las regiones alpinas. En Utrillas (Teruel) constituye este combustible una cuenca muy importante y existe también en Alcoy (Alicante), partido de Juarros (Burgos), Minglanilla (Cuenca) y otros puntos de Aragón, Cataluña, Mallorca, Granada, Almería, Albacete, etc., así como en Portugal (1). Las variedades comunes del lignito se emplean como combustible; la de color negro intenso, brillante, dura y de fractura concoidea, o sea el *azabache*, para fabricar objetos de adornos usados en los lutos, y la variedad térrea, llamada *tierra de Colonia* o *de sombra*, sirve en la pintura. En Villaviciosa (Asturias) y en Utrillas se explota el azabache.

Carbón mineral o de piedra, hornaguera, hulla.—Es un carbón más antiguo que el anterior y uno de los productos más preciosos para el hombre que el suelo encierra. Es compacto o fibroso y con frecuencia en masas paralelepipedas, frágil, de lustre vítreo o craso, color negro, raya negra o negro grisácea; $d = 2$ a $2,25$; $p = 1,2$ a $1,8$. Apenas tiene acción sobre la solución de potasa cáustica en frío, colorándola ligeramente de amarillo en caliente. Su estructura vegetal no se percibe a simple vista, pero sí con el microscopio en secciones delgadas dispuestas al efecto. Es más rico en carbono que los lignitos, puesto que llega a contener hasta un 80 a 90 por 100, y más pobre que ellos en hidrógeno y oxígeno.

Arde la hulla con llama brillante, blanco-amarillenta, acompañada de mucho humo, produciendo un olor característico. Se llama *grasa* cuando se funde y aglomera al arder, y *seca* si no funde y se conservan independientes unos fragmentos de otros durante la combustión. Por destilación seca desprende la hulla gases combustibles (*gas del alumbrado*) y deja en las retortas un carbón poroso, duro, que arde sin llama y posee gran potencia calorífica, conocido con el nombre de *cok*; al mismo tiempo que el gas se desprenden *aguas amoniacaes*, utilizadas en la obtención del amoniaco o álcali volátil que circula en el comercio, *sales amónicas*, y, por último, *brea mineral*, que contiene, a la par que otros muchos cuerpos, la bencina y el fenol, los cuales, a más de sus aplicaciones industria-

(1) En 1907 se produjeron en España 191.401 toneladas de lignito, que valieron 2.351.000 pesetas, siendo las provincias que dieron mayor contingente las de Teruel, Guipúzcoa, Barcelona y Baleares.

les inmediatas, sirven de base, juntamente con otras materias extraídas también de la brea (naftalina, tolueno, antraceno, etc.), para la fabricación de los colores artificiales llamados de anilina. Son, pues, inmensas y variadas las utilidades que el carbón de piedra reporta al hombre.

Constituye la hulla depósitos que se extienden, a veces, por muchos kilómetros cuadrados, y, generalmente, a gran profundidad en las antiguas formaciones sedimentarias. Inglaterra, sobre todo en Newcastle, posee la mayor riqueza; la cuenca franco-belga, los yacimientos de Silesia, los de Austria y Rusia dan a Europa un gran contingente de combustible, siendo también extraordinariamente abundante en ellos la América del Norte. La producción de carbón en Europa y América en 1907 se elevó a mil millones de toneladas.

En España existen dos grandes centros carboníferos, a más de numerosos depósitos locales y de menor extensión. El primero de aquéllos lo constituyen Asturias (Langreo, Arnao, etc.), y las provincias de León y Palencia (Orbó a Otero de Dueñas); el segundo, la provincia de Córdoba, términos de Villaharta, Espiel, Bélmez y Fuenteovejuna, continuando hasta la de Badajoz. Entre los depósitos de menor extensión figuran el de San Juan de las Abadesas, en la provincia de Gerona, algunos otros en las de Lérida y Barcelona, y los de Puertollano (Ciudad Real), Villanueva del Río (Sevilla), San Adrián de Juarros (Burgos), etc. (1).

Antracita.—Este carbón, el más antiguo de todos, se presenta en masas de un color negro de hierro, grisáceo, frecuentemente divididas en prismas, de fractura concoidea; frágil; lustre vítreo intenso o casi metálico, con irisaciones superficiales en algunos casos; $d = 2$ a $2,5$; $p = 1,4$ a $1,7$; difiere de la hulla por contener más de un 90 por 100 de carbono y sólo pequeñísimas cantidades de hidrógeno y oxígeno. Arde difícilmente y con poca llama, sin producir cok, como lo hace la especie anterior.

Se halla entre las rocas sedimentarias más viejas del Antiguo y Nuevo Mundo, y en España, en Viñón y Colunga (Asturias), en la provincia de Lérida y en Bélmez, donde es o ha sido objeto de explotación (2). Se emplea como combustible en hornos dispuestos de manera que se produzca en ellos una violenta corriente de aire, como en los de cok (3).

(1) La producción total de la hulla en España durante el año 1907 fué próximamente 3.500.000 toneladas, que representan un valor a bocamina de 45.000.000 de pesetas. La mayoría de esta cifra corresponde a la provincia de Oviedo; luego le sigue la de Córdoba, con 400.000; la de Ciudad Real, con 337.500, y la de León, con 300.000, en cifras redondas.

(2) Las provincias de Córdoba y Palencia han dado, en 1907, 165.000 toneladas de antracita, valiendo unos 2.600.000 pesetas.

(3) En la página 50 se ha tratado de cómo los restos vegetales se transforman en carbón, si se hallan preservados del acceso de la atmósfera, y explicado cómo, por una continua aunque lenta pérdida de oxígeno e hidrógeno, aumenta la de carbono en la composición total de la substancia. Por eso, los carbones más modernos son los más pobres en carbono, y el más antiguo (antracita),

Litología.

GENERALIDADES

Hemos dicho (pág. 69) que los materiales esenciales en la constitución de la corteza terrestre se llaman *rocas* y *Litología* el tratado que de ellas se ocupa. Sabemos también que algunos minerales se presentan en masas de bastante consideración para constituir verdaderas *rocas simples*, pero que las más importantes de éstas resultan de la yuxtaposición más o menos coherente de elementos minerales, originando *rocas compuestas*, cuyo agrupamiento se realiza bajo ciertas leyes de composición y estructura, dando lugar a productos de un orden de complicación mayor que el de los minerales. Así, por ejemplo, la piedra berroqueña o granito está constituida por la asociación de tres minerales: cuarzo, feldespato y mica (figura 134).

En virtud del continuo dinamismo que en el globo se verifica, unas rocas se destruyen y se crean otras nuevas, por lo cual debemos comenzar nuestro estudio por aquellas primitivas a expensas de las cuales se han ido produciendo las demás en el transcurso de los tiempos; pero antes es preciso dar algunas nociones referentes a los materiales terrestres en general y a los medios de que se dispone para su investigación.

La Litología comprende, en efecto, una parte general y otra descriptiva. La primera versa sobre las cuestiones siguientes: 1.^a, Composición de las rocas; 2.^a, Estructura, y 3.^a, Posición en la corteza terrestre.

COMPOSICIÓN DE LAS ROCAS

Tratándose de las rocas simples sólo hay que considerar la composición química; pero en las compuestas es preciso investigar la composición mineralógica, esto es, cuáles son los minerales que las constituyen y cuya composición dará la de la roca que forman por su reunión.

Composición química.—Pocos son los minerales que se encuentran en el globo en cantidad suficiente para ser considerados como verdaderas rocas, y entre ellos mencionaremos el cuarzo, el feldespato ortosa, la caliza, el yeso, la sal común, los óxidos de hierro y las arcillas. Si se examina la composición química de los

el más rico en este cuerpo, y, en cambio, escasísimo en oxígeno, hidrógeno y nitrógeno, según muestra el cuadro siguiente:

	C	H	O	N
Lignito.. .. .	69	5.5	25	0.8
Hulla.. .. .	82	5	13	0.8
Antracita	95	2.5	2.5	—

minerales que forman las rocas principales del globo, se nota que es muy reducido el número de sus elementos, y entre ellos predominan extraordinariamente el oxígeno, el silicio y el aluminio; los dos primeros, por su unión, dan lugar a la sílice; el primero y el tercero, a la alúmina, la cual, asociándose con la sílice y el agua, produce las arcillas, cuerpos todos estos que por ser esencialmente refractarios, inalterables y duros, constituyen el cimiento estadizo de la corteza terrestre.

La composición química de las rocas compuestas resulta de la de los minerales que las forman, los cuales son silicatos en su inmensa mayoría, y se llega a su conocimiento mediante el análisis cuantitativo; pero éste rara vez se practica, porque basta saber cuáles sean los minerales integrantes para juzgar de la composición de la roca que originan. Sin embargo, hay un elemento que suele presentarse en ella en varias formas a la vez y cuya cantidad total importa conocer, que es el ácido silícico: con arreglo a ella se dividen las rocas en *ácidas*, si dicho ácido oscila entre 63 y 70 por 100; *básicas*, cuando se halla en un 40 a 45 por 100, y *neutras* o *intermedias*, si alcanza un 55 a 66 por 100. Los silicatos ricos en óxidos metálicos son los que dominan en la constitución de las rocas básicas, que resultan por eso pesadas, al paso que las producen ligeras los abundantes en sílice. Tipo de estas últimas, o sea de rocas ácidas, es el granito; de las básicas, las serpentinas y basaltos, y de las intermedias, la sienita.

Composición mineralógica.—De los minerales que entran a formar las rocas compuestas, unos son *esenciales*, es decir, que su presencia es indispensable para constituir aquella especie de roca, como el cuarzo, un feldespato por lo menos y la mica en el granito antes citado; otros son *accesorios*, como, por ejemplo, la turmalina, el anfíbol, el berilo, los granates, etc., que suelen presentarse en dicha roca, pero no de un modo constante en todos los ejemplares de ella, ni aun en la misma localidad. Estos componentes accesorios dan lugar a variedades, que en los ejemplos citados se llamarían granito turmalinífero, anfíbolífero, granatífero, etc. También puede suceder que algunos de los minerales de que la roca constaba en su origen, o *primitivos*, se hayan transformado por reacciones químicas de sus elementos en otros *derivados*, según explicaremos al tratar del metamorfismo, como la clorita, el caolín, etc., frecuentes en el granito.

El reconocimiento de la composición mineralógica de las rocas suele ofrecer grandes dificultades a causa de la compenetración de sus elementos, y a menudo por la pequeñez de éstos, y entonces es preciso reducirlas a secciones delgadas de 2 a 4 centésimas de milímetro de espesor (1), y observarlas mediante el microscopio mine-

(1) El procedimiento para esta preparación es esencialmente el mismo descrito para la de los cristales (pág. 97, nota). Se darán más detalles en las indicaciones sobre la preparación y recolección de ejemplares que van al final de este Tratado.

ralógico, primero con luz natural, y luego con la polarizada, la cual, por las brillantes coloraciones que presta a muchos granos cristalinios y por los caracteres con que éstos aparecen en cada especie, permite distinguir unos de otros minerales constitutivos, así como las sustancias isótropas de las anisótropas (pág. 96). Oportunamente (pág. 86) hemos hablado de las inclusiones microscópicas que los minerales pueden presentar, y son habituales en no pocos de ellos, las cuales proporcionan importantes elementos para averiguar el origen de las rocas.

Muchas veces se hace indispensable separar los diversos elementos mineralógicos que contiene la roca para estudiarlos aisladamente, y para ello se reducen a polvo homogéneo, el cual se trata por líquidos de densidad creciente en los cuales flotan con independencia unos de otros los granillos que corresponden a cada especie mineral, según su densidad, como al ocuparnos de esta propiedad explicamos (pág. 91). También se logra aislar en aquel polvo los elementos ferríferos y ferromagnésicos de los restantes, sirviéndose de un electroimán puesto en acción por un número de pilas que se va aumentando a medida que se han separado los elementos más fáciles de extraer. Una vez obtenida por cualquiera de estos métodos la separación de los minerales de la roca en grupos aproximadamente homogéneos, puede procederse a su análisis según las reglas que da para ello la Química.

ESTRUCTURA DE LAS ROCAS

Las rocas simples presentan las estructuras correspondientes al mineral que las constituye, estudiadas oportunamente (pág. 85); pero en las formadas por asociación de minerales, ya hay que reconocer estructuras puramente litológicas resultantes del modo diverso como éstos aparecen agregados.

Entre las rocas compuestas se distinguen, ante todo, unas en que los componentes son fragmentos o detritos de rocas anteriores aglomerados o cementados, de otras en que constituyen aquéllos masa primitiva homogénea, bien sea amorfa o cristalina. Las primeras son las rocas *detríticas* o *clásticas*, y las segundas, las *macizas* o *en masa*.

Rocas detríticas.—Se llama así a las formadas por fragmentos grandes o pequeños, que generalmente conservan la naturaleza de la roca anterior de que procedieron; si están trabados por una pasta o cemento, se califican de *conglomeradas* o *aglomeradas*; también pueden consistir en los productos de la alteración química de otras o de minerales anteriores, y entonces ha cambiado la naturaleza y caracteres de estas sustancias, de lo que son ejemplo las arcillas y pizarras de tejado. Son rocas conglomeradas las *areniscas* o *asperones*, que se hallan formados por granillos cementados, y si los elementos empastados adquieren mayor tamaño y son re-

dondeados, como cantos rodados, se llaman *pudingas* o almendrones (fig. 132), y si angulosos, *brechas* (fig. 133).

Rocas en masa. — Según el modo como están relacionados unos con otros los minerales que componen estas rocas resultan tres tipos

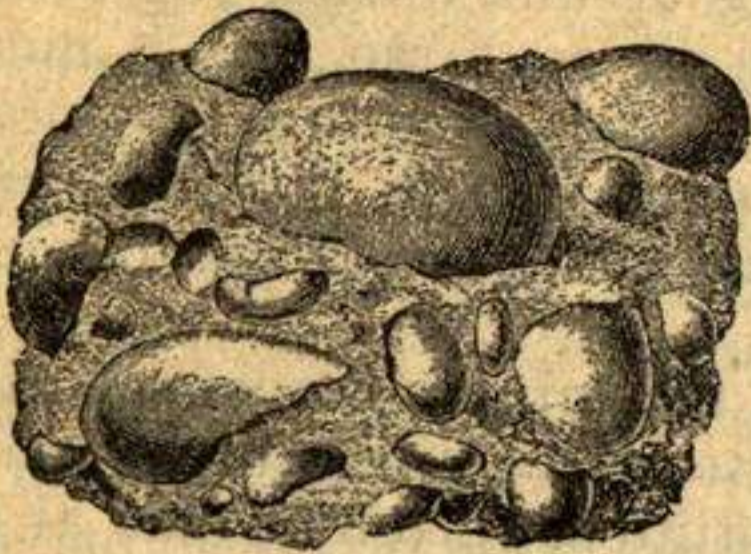


Fig. 132. — Pudinga.

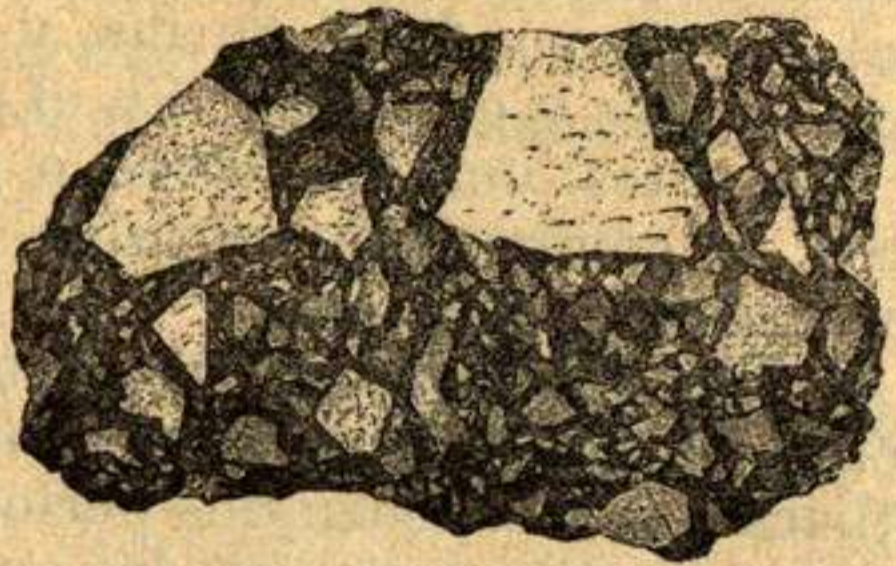


Fig. 133. — Brecha.

fundamentales de estructura litológica: *granítica*, *porfírica* y *vitrea*.

1.º Los elementos constitutivos de las rocas graníticas son granudo cristalinos, y están yuxtapuestos y confinando íntimamente por sus bordes, sin intermedio de ningún cemento o pasta que los trabe (fig. 134). En general, ofrecen, aproximadamente, el mismo desarrollo los elementos de las distintas especies que forman la

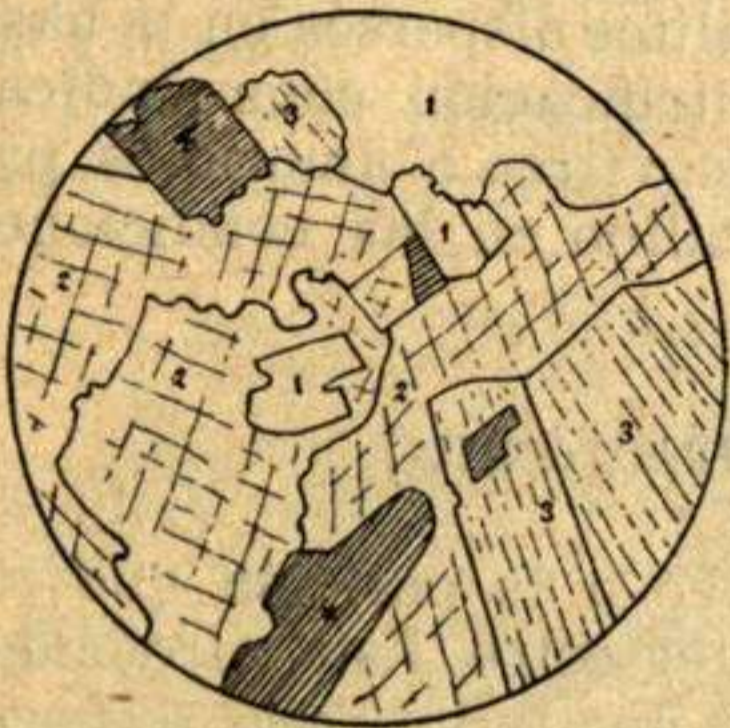


Fig. 134. — Estructura microscópica del granito.—1. Cuarzo en grandes trozos y en cristales aislados.—2. Ortoclasa.—3. Plagioclasa.—4. Mica.



Fig. 135. — Estructura porfírica.

roca, es decir, que si se trata de una variedad de grano fino, todos los minerales se presentan en menudos granos, y lo contrario si es una variedad de grano grueso, de donde se infiere que todos han cristalizado o se han solidificado a la par. Según que los elementos se perciban a la simple vista o sólo mediante el microscopio en las secciones delgadas, se dice que esta estructura es *macro* o *microgranítica*.

2.º La estructura porfírica (fig. 135) se caracteriza porque cons-

tituye la roca una pasta o *magma fundamental* de elementos tan pequeños que sólo por medio del microscopio se pueden reconocer, y en medio de ella están encajados cristales las más veces perceptibles a la simple vista, y en ocasiones voluminosos, que se llaman *cristales porfíricos*. Estos pueden ser todos de una misma especie mineral o corresponder a varias, y suelen presentarse más o menos fragmentados y corroídos. En el magma fundamental se reconocen dos elementos: una *base vítrea* o sustancia amorfa isótropa (página 84), de composición variable, y microlitos y cristalitos diversos cementados por aquélla.

Al paso que en las rocas graníticas los minerales constitutivos de ellas se consolidaron simultáneamente, como queda dicho, en las porfíricas se reconocen dos períodos distintos, perteneciendo al primero los gruesos cristales, los cuales se originaron mientras se hallaba todavía la roca en las profundidades, y al segundo, el magma y las diversas formaciones que contiene, las cuales se han solidificado después, es decir, al exterior, o al menos en una zona superficial de la corteza terrestre.

3.º La obsidiana posee estructura vítrea, y por eso se llama también vidrio de los volcanes. Exteriormente es una sustancia compacta y brillante, a veces celular o cavernosa (piedra pómez), y, vista al microscopio en secciones delgadas, presenta la misma disposición que el magma fundamental de las rocas porfíricas, es decir, que tiene diversos microlitos y cristalitos dispersos en la base vítrea. Son éstos, pues, productos de desvitrificación, como indicamos, y que inducen a pensar que el estado vítreo o amorfo es pasajero y capaz de transformarse en cristalino en las condiciones naturales (1).

POSICIÓN DE LAS ROCAS (GEOTECTÓNICA)

El asunto de la *Geotectónica* es el relativo a la posición que los materiales pétreos afectan en la corteza terrestre. Esta ofrece dos tipos principales distintos, que se refieren, uno, a las *rocas sedimentarias*, las cuales yacen en capas superpuestas, y el otro, a los *materiales en masa* que componen macizos uniformes, no dispuestos en capas, de cuyos dos tipos nos vamos a ocupar sucesivamente.

Arquitectónica de las rocas cristalinas y eruptivas.—Las rocas no sedimentarias aparecen de una de las tres maneras siguientes:

1.ª Constituyendo *masas* homogéneas, de contorno más o menos irregular, que tienen todo el aspecto de haberse solidificado por completo en el mismo sitio en que aparecen, sin haberse extendido

(1) Algunas de las estructuras peculiares a determinadas rocas se han logrado producir artificialmente, sirviéndose de vidrios de composición química igual a la de los naturales, obtenidos por medio de fusión de ciertos minerales o productos de laboratorio. Sometiendo estos vidrios por espacio de tiempo más o menos largo a una temperatura constante inmediatamente inferior a la de la fusión, se han obtenido microlitos de feldespatos, piroxenos, anfíboles, etc., con los mismos caracteres e igual modo de asociarse que ofrecen en las rocas naturales.

ni corrido por la superficie del suelo. Estas rocas se llaman también profundas, atendiendo a su origen. El ejemplo más importante y conocido de semejante disposición arquitectónica es el granito, que comprende grandes masas cristalinas uniformes.

2.^a En *venas* (fig. 136), es decir, ocupando las hendiduras o fallas preexistentes en formaciones rocosas anteriores. A veces estas venas constituyen especies de paredones más o menos alzados o verticales por descomponerse la masa en que encajan (fig. 137), y entonces reciben el nombre particular de *diques*. Las rocas en venas se han consolidado durante el período de su salida a través de las soluciones de continuidad de la corteza terrestre.

3.^a En *mantos* o *corrientes*, merced a haber llegado la materia que constituía estas rocas a la superficie en un grado de pastosidad o fluidez que las permitió extenderse desde el punto de erupción, terminando su solidificación al aire libre y, por tanto, sin presión, como acontece a la lavas arrojadas por los volcanes.

Las rocas profundas, tanto en masa como en venas o filones pétreos que aparecen a la superficie, han llegado a ella a conse-

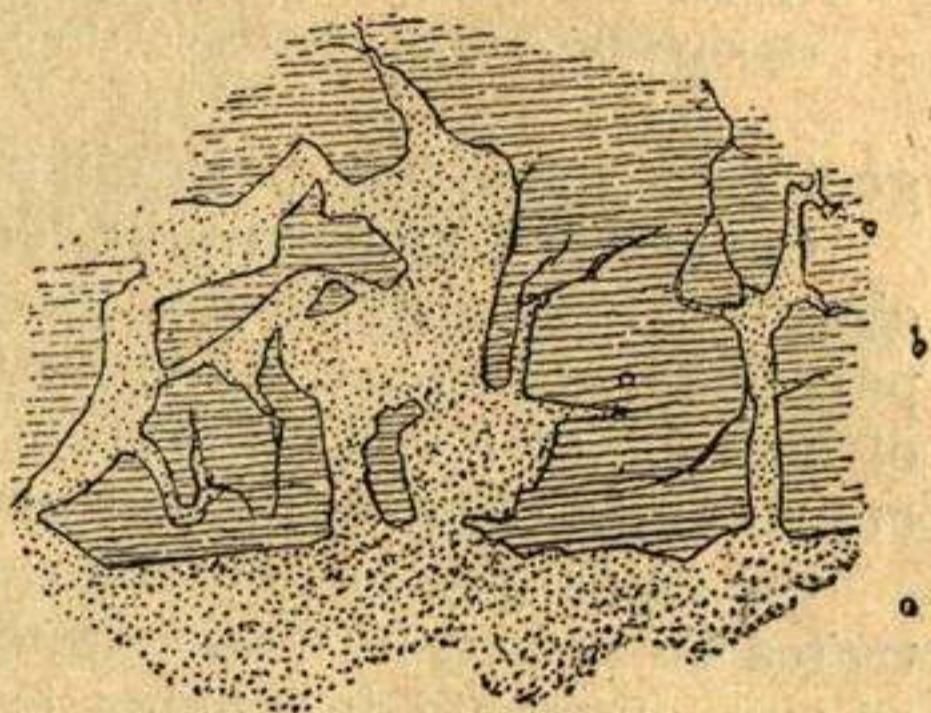


Fig. 136.—Plano de una región de pizarras b, penetradas por granito a.

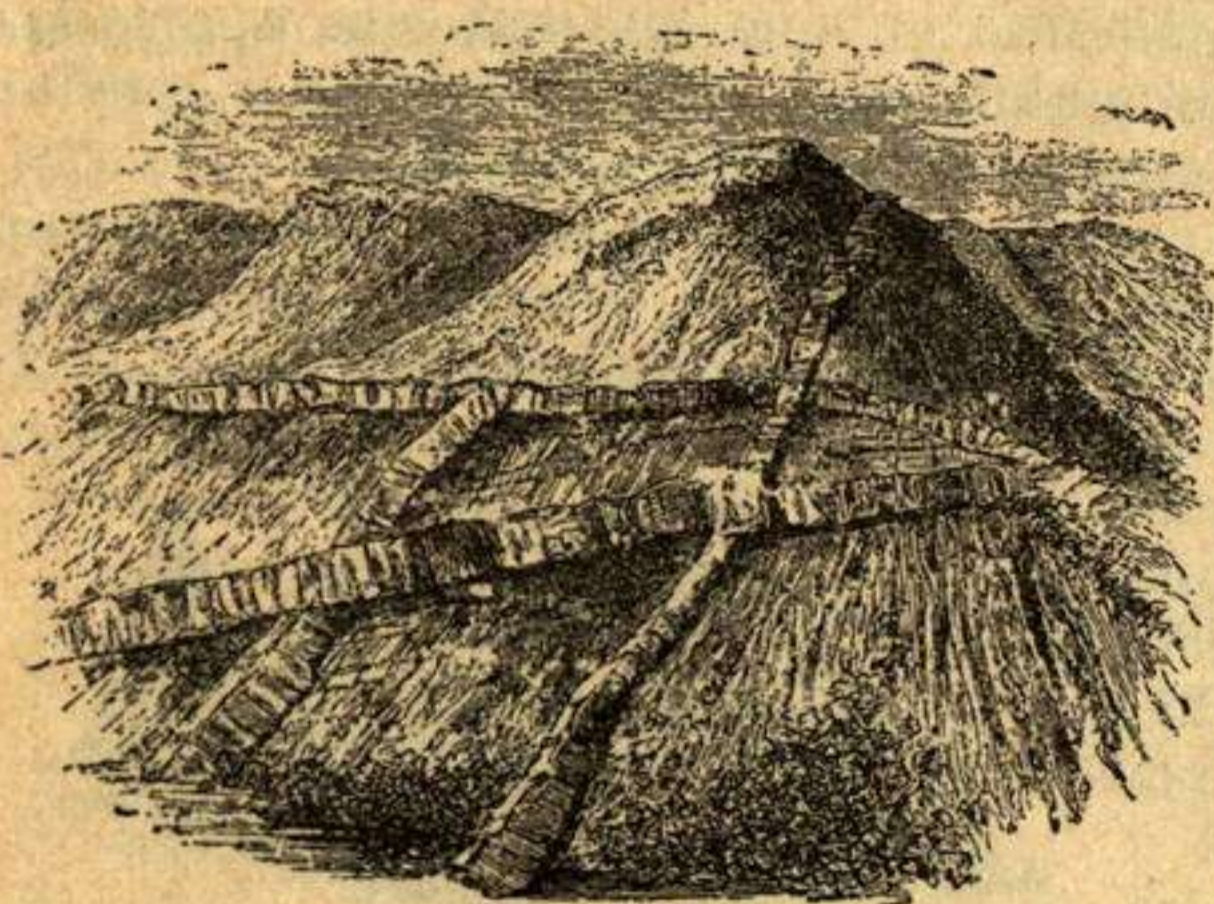


Fig. 137.—Diques de pegmatita.

cuencia de los movimientos de la corteza terrestre posteriores a la época en que se formaron o consolidaron; pero otras veces se hallan a descubierto merced al desgaste y erosión sufridos por materiales más alterables que ellas que las cubrían, o entre los que se hallaban inyectadas, como se ha dicho antes.

La edad relativa de las rocas de que tratamos se infiere de las relaciones

que guardan con aquellas en que están en contacto; así, las venas o diques serán más modernas que las capas que atraviesan, y los mantos o corrientes de roca eruptiva, y que a veces existen de un modo concordante entre otras estratificadas, corresponderán a fecha posterior a las que están debajo, y anterior, a las que reposan encima, las cuales se sedimentaron sobre aquéllos. La

figura 138 representa en sección vertical una serie de lechos de roca eruptiva, señalados con los números 2, 3 y 4, interestratificados entre capas que pueden ser de caliza, pizarra, arcilla, etcétera. Cada uno de los lechos será posterior a los estratos que tiene debajo y anterior a los que le cubren, y el conjunto de la serie de lechos eruptivos y sedimentos, de una misma época

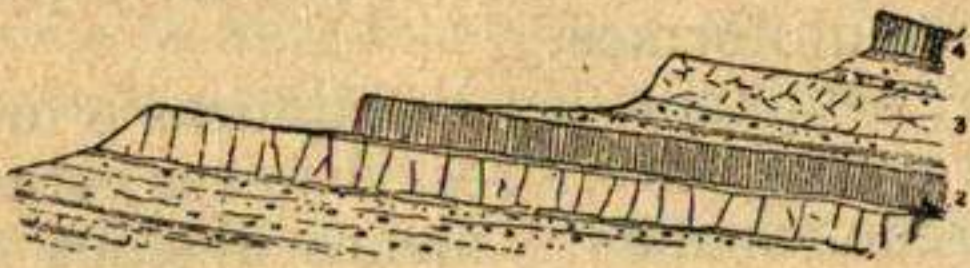


Fig. 138.—Corte vertical de mantos de roca eruptiva en corrientes dentro de estratos.

geológica, pues hay paralelismo en todas estas formaciones.

Caracteres generales de los estratos.—Se llaman *estratos* los lechos o capas superpuestos y separados unos de otros por superficies paralelas, que constituyen las formaciones sedimentarias, los cuales ofrecen en su modo de presentarse o disposición arquitectónica circunstancias cuyo estudio es asunto de la *Estratigrafía*.

Sabemos, por la naturaleza del proceso sedimentario, que los estratos no se han formado simultáneamente, y buena prueba de ello es que, en medio de muchas capas de la misma naturaleza mineral, se intercalan de ordinario otras más delgadas y de composición diferente. También sabemos que todo estrato es más moderno que el que reposa debajo y más antiguo que el que descansa sobre él.

Espesor.—Es éste tan variable, que los estratos aparecen tan pronto finos como hojas, al paso que otras veces alcanzan un grueso de muchos metros. Depende el espesor de la duración del tiempo durante el cual la sedimentación se verificó de un modo no interrumpido, cesando en el momento en que las materias aportadas por las aguas continentales cambiaron de naturaleza o por quedar emergido el fondo sobre el cual se depositaba el estrato.

Las capas se prolongan, generalmente, con un espesor uniforme por muchos kilómetros; otras, en cambio, se estrechan en seguida hacia los extremos, semejando grandes lentejones, por lo que reciben el nombre de capas o *depósitos lenticulares*. Así sucede especialmente en las hullas, en cuyas minas se advierte muchas veces la terminación en cuña de una formación poderosa en su parte media y que va adelgazando por los lados hasta desaparecer.

Dirección y buzamiento.— Cuando los estratos conservan su posición primitiva, están horizontales; pero es lo más frecuente que las acciones orogénicas los hayan trastornado después de su sedimentación, dejándolos inclinados y hasta verticales. En estos últimos casos se llama *cabeza* o *cresta* la parte más levantada del estrato.

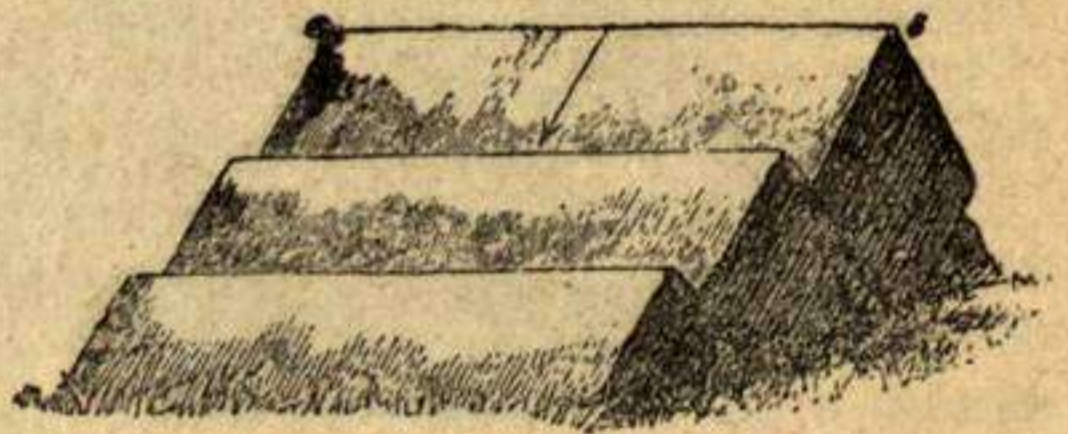


Fig. 139.—La dirección está dada por la línea *s s* y el buzamiento, por la flecha normal a ella.

Para determinar la posición de los estratos desviados de la horizontal es preciso conocer su *dirección* (fig. 139), o sea la intersección del plano del estrato con el horizonte, y el *buzamiento*, es decir, la dirección, según la cual se inclina y hunde en el suelo. También se define este último diciendo que es el punto cardinal hacia el cual mira la línea de máxima pendiente de la superficie de la capa; esta línea es la misma según la cual correría el agua. La dirección y el buzamiento son dos líneas normales entre sí que ofrece todo estrato perturbado de su horizontalidad originaria. La primera se determina por medio de la brújula, y la segunda, por la plomada.

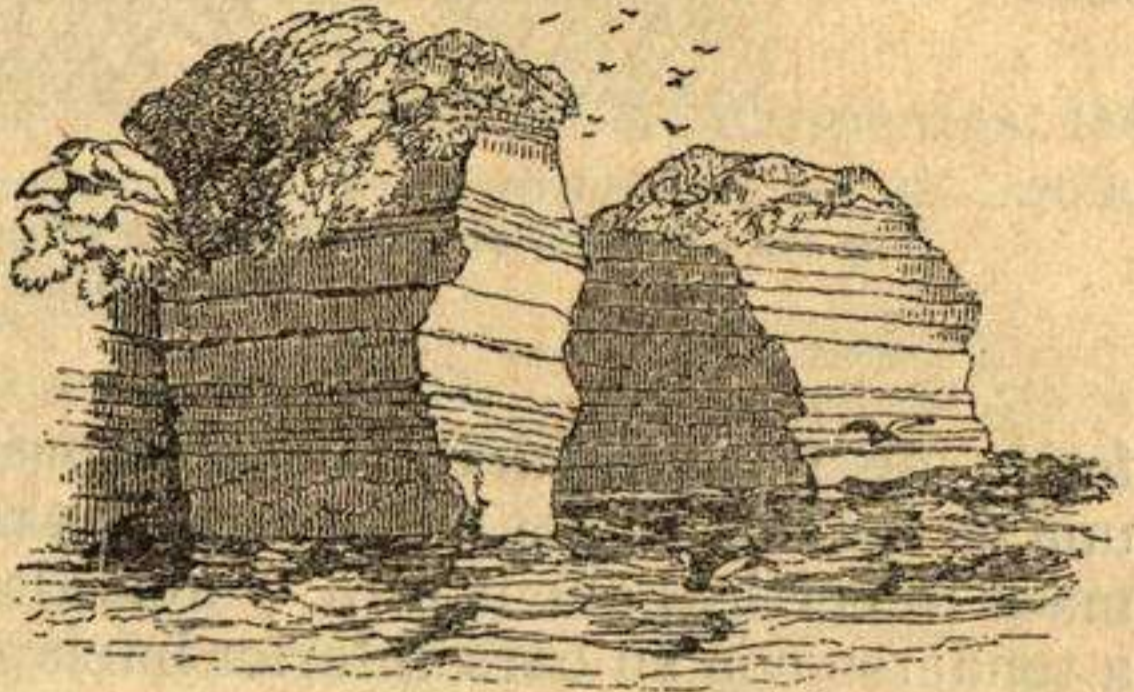


Fig. 140. — Planos de juntura verticales y planos de estratificación horizontales.

Planos de juntura.—Además de las superficies de separación de los estratos que constituyen líneas generales y dominantes, presentan éstos casi siempre, sobre todo si es algo consistente la naturaleza de ellos, otro sistema de planos de división que suelen correr casi perpendiculares a los anteriores (fig. 140). A la intersección de estos dos sistemas de planos se debe el que pueda arrancarse de las canteras piezas de piedra aproximadamente cúbicas o paralelepípedas.

Las juntas tienen mucha importancia geológica, por constituir vías de entrada y salida de las aguas del interior hacia el exterior, y viceversa, y facilitar así la alteración de las rocas en la profundidad.

Estratos monoclinales y diclinales.—Bajo la influencia de los esfuerzos de presión lateral que los estratos han experimentado y

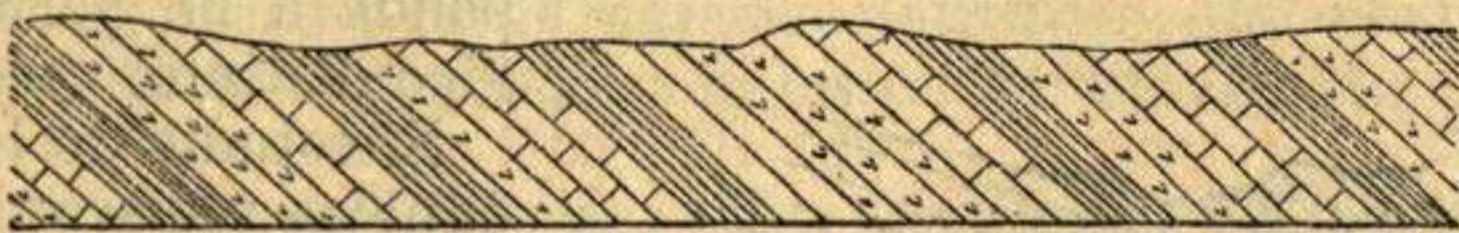


Fig. 141. —Estratos monoclinales concordantes.

experimentan constantemente, no sólo han perdido las más veces su primitiva horizontalidad, sino que en ocasiones se han arqueado y doblado de mil modos. Cuando todas las capas están volcadas hacia un lado y en un solo sentido, se origina la estructura *monoclinial* (fig. 141), al paso que otras veces han tenido que ondular y plegarse alternativamente, dando por resultado la estructura *diclinial* (fig. 142), constituida por capas encorvadas o en ángulos

más o menos agudos. En este último caso, los vértices, situados unos en la parte más alta y otros en la más baja, se suceden, originando pliegues en forma de *A* (*anticlinales*), o, por el contrario, en

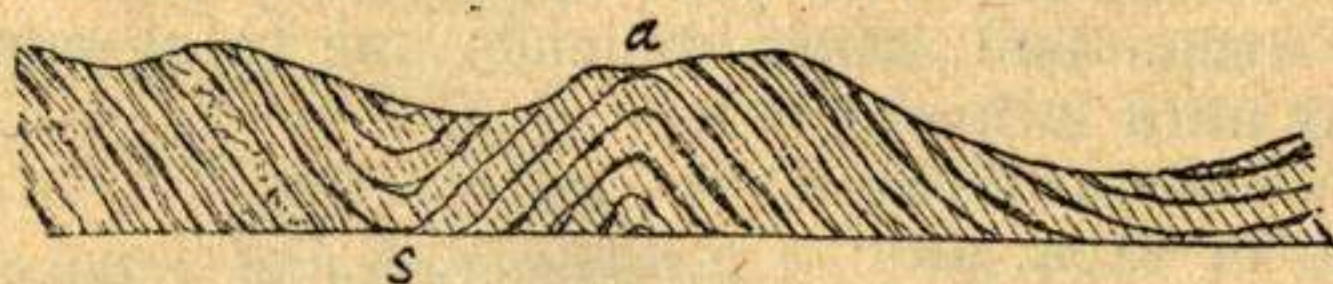


Fig. 142.—Estratos plegados diclinales concordantes.—Forman anticlinales *a* y sinclinales *s*.

forma de *V* (*sinclinales*). Puede ocurrir, y es caso más general, que una de las dos ramas del pliegue sea más corta o se halle más próxima a la vertical que la otra, y aun alguna vez que la primera llegue a tenderse con su cara inferior hacia arriba (*estratos invertidos*).

Los pliegues, anchos cuando empezaron a formarse, se han ido doblando y cerrando más cada vez, y si las presiones continúan obrando sobre ellos, acaban por romper los estratos por los dobleces, convirtiéndolos en prismas que quedan aislados y pueden deslizarse unos sobre otros.

Estratos concordantes y discordantes. — Se dicen *concordantes* los estratos cuando son *paralelos*, y *discordantes*, en el caso contrario.

La concordancia de estratificación

puede conservarse, aunque los estratos no se hallen horizontales (figuras 141 y 142), con tal que sus perturbaciones les afecten igualmente, y es independiente también de la composición litológica. Esta disposición indica que no se interrumpió el proceso geológico que dió nacimiento a las capas que conservan su paralelismo, mientras que en la estratificación discordante (fig. 143), cada capa o serie de ellas, *a* y *b*, que ofrecen una dirección común, corresponde a un período geológico distinto.



Fig. 143.—Dos series de estratos discordantes.

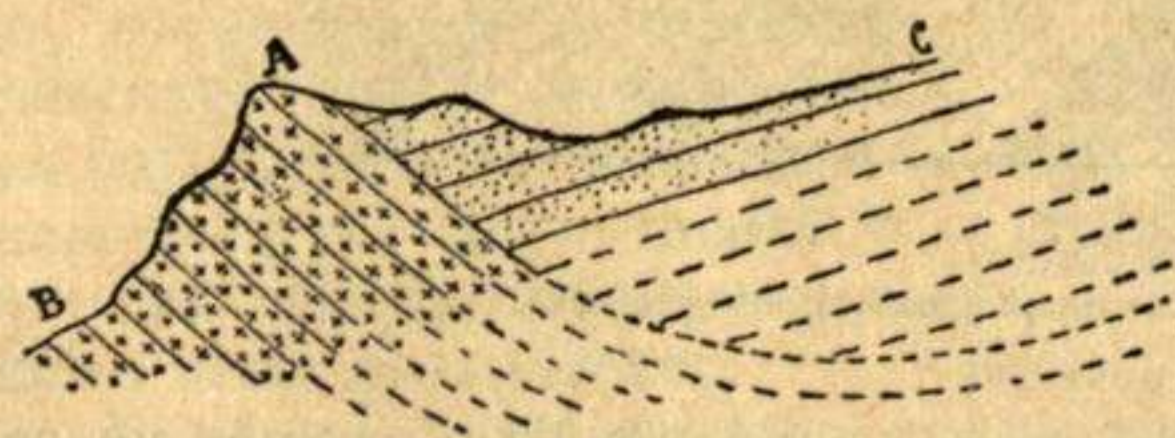


Fig. 144.—Discordancia local.

nes en el transcurso de los tiempos. Limitándonos por ahora a los datos puramente estratigráficos, veamos los hechos que se infieren de la disposición que ofrecen las dos series de capas que indica la adjunta figura: 1.º, sedimentación normal y en

posición horizontal, por tanto, de la serie A B; 2.º, plegamiento posterior de la misma después de sedimentada; 3.º, espacio de tiempo transcurrido entre esta última acción y el depósito de la serie C; 4.º, sedimentación de la serie C; 5.º, movimiento que ha hecho perder a esta última su horizontalidad. Razonando de este modo, y con los datos que le sugiere el estudio estratigráfico, investiga el geólogo las vicisitudes que ha experimentado una comarca en el transcurso de las edades.

Fallas. — Por efecto de las presiones o de los hundimientos, las capas suelen quedar, no sólo cortadas, sino *desniveladas*, de modo que en los dos bordes de una hendidura, dichas capas no se corresponden. A este género de dislocaciones se llama *fallas*. Las hay locales y limitadas, que apenas ejercen influencia en la estructura del suelo que cortan; pero otras son extensas, regionales e imprimen carácter al relieve de vastas superficies. Tal sucede en nuestro país con las dos grandes fallas, perpendiculares entre sí, por donde corren el Ebro y el Guadalquivir.

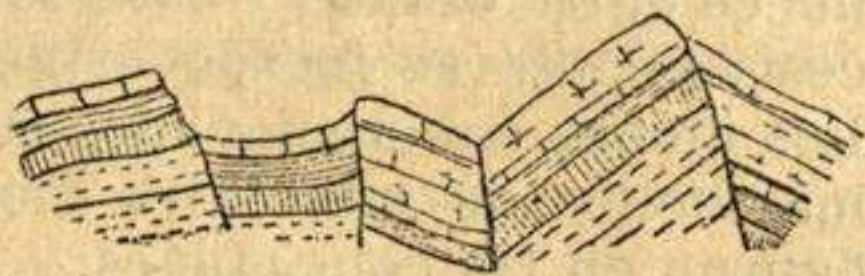


Fig. 145.—Grupo de fallas.

Allí donde obrando con gran energía las presiones laterales han reducido a segmentos sueltos y alzados las que eran antes capas continuas, del modo que queda explicado, las perturbaciones de que tratamos se presentan en gran número, constituyendo los *grupos de fallas* (fig. 145). Estos son sumamente frecuentes, sobre todo en la profundidad, hasta el punto de que, por la sucesiva producción de dichas roturas, la corteza terrestre, continua y homogénea en su origen, se ha transformado en el transcurso de los tiempos en un enrejado de grietas que la dividen en fragmentos enclavados unos en otros, al modo como lo están las mallas de una cota.

Las fallas desempeñan importante papel en la arquitectura y en la dinámica del globo. Establecen las principales comunicaciones del exterior con el interior; fraguan la vías de menor resistencia, por donde corren muchos arroyos y ríos, y a veces se rellenan de fragmentos de rocas y otras materias detríticas, que, cementándose después, constituyen brechas, o lo hacen químicamente, como ahora veremos.

Filones o venas metalíferas.—Las hendiduras y fallas pueden haberse ido rellenando de precipitados minerales, en vez de hacerlo de rocas eruptivas, como en el caso de las venas antes citado. En estos rellenos se distinguen una parte metálica, que es el *filón* propiamente dicho, y otra pétrea, que suele envolver a la anterior, y es la *ganga*. El filón está constituido las más veces por sulfuros y sulfosales metálicas, a las cuales se asocian minerales derivados de ellos por reducción u oxidación, como los metales nativos, sus óxidos, sulfuros y carbonatos. Los minerales cuyo depósito llena los filones, se han producido generalmente por el lavado de las rocas

inmediatas, en las cuales circulan las aguas atmosféricas, precipítanse sus disoluciones en las grietas, cristalizando allí; algunos filones, sin embargo, deben su formación a fuentes minerales de origen profundo, y termales, por tanto.

La estructura de los filones es sumamente varia e interesante; así, los llamados *concrecionados* (fig. 146) presentan la ganga y los minerales metálicos colocados por capas concéntricas, y, a veces, con notable regularidad y simetría. Esto se debe a que la hendidura que ocupa el filón se ha formado en épocas sucesivas: la primera grieta se rellenó de mineral o ganga; una nueva fractura dejó un hueco entre el filón y las paredes, que volvió a rellenarse, y así sucesivamente se fueron originando las demás capas concéntricas. Los filones concrecionados suministran los ejemplares cristalizados más bellos de minerales metálicos, y aun de muchos pétreos que figuran en las colecciones.

METAMORFISMO

Las rocas, después de su consolidación, pueden experimentar, y es lo normal que así suceda, cambios, a veces importantes, en su composición y en su estructura: proceso complejo de fenómenos, que se designa colectivamente con el nombre de *metamorfismo*. En ocasiones, la transformación aparece circunscrita a una área limitada, que puede ser una zona alrededor de una roca eruptiva, existiendo perfecta continuidad y tránsito insensible entre los materiales metamorfizados y aquellos de que derivan, y que un poco más lejos no ofrecen cambio perceptible; este metamorfismo se designa con el calificativo de *local* o *de contacto*. En otros casos, por el contrario, abarca regiones enteras, sin que se halle en las rocas metamorfizadas ni en sus inmediaciones material eruptivo, al menos en cantidad suficiente, para achacarle tan dilatados efectos; este metamorfismo se llama *regional*, *normal* y también *mecánico*, porque se le considera resultado de las acciones dinámicas generales, productoras de las grandes dislocaciones de la corteza terrestre. Semejantes fenómenos alcanzan por eso todo

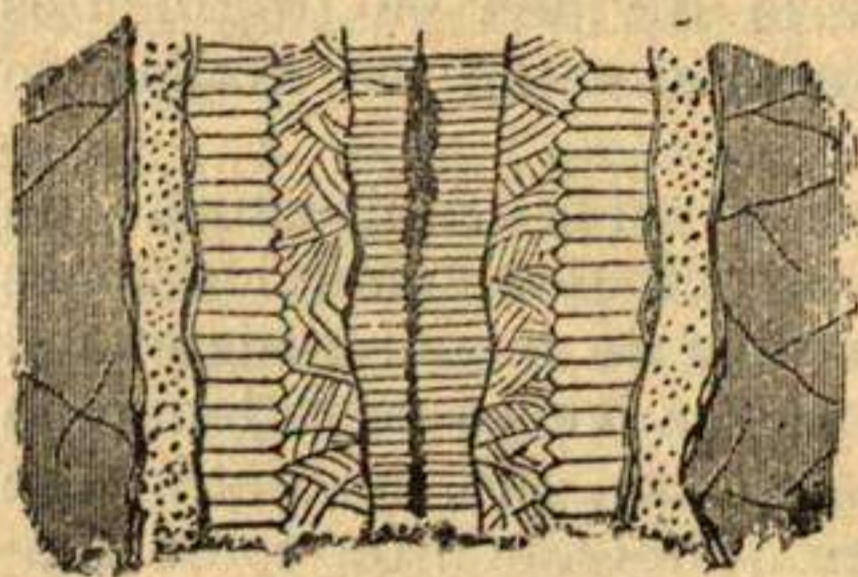


Fig. 146.—Sección vertical de un filón concrecionado.

su desarrollo en las regiones montañosas, donde hay ocasión de ver con abundancia extrema materiales porosos o incoherentes en su origen, cambiados en duras piedras y plagados en su seno de minerales a veces curiosos.

Los resultados de uno y otro metamorfismo son enteramente análogos, y entre los más importantes pueden contarse el endurecimiento de las rocas (como la transformación de las arcillas en jaspes), la producción de las estructuras pizarrosa y cristalina en

los materiales primitivamente compactos (cambio de las arcillas en pizarras y aun en pizarras cristalinas, de la caliza basta en mármol estatuario, etc.), la formación de nuevos minerales a expensas de los elementos de la roca (como micas, silicatos aluminicos, pág. 159) y otros cambios resultantes también de acciones térmicas, mecánicas o químicas, obrando aislada o simultáneamente.

De lo expuesto se infiere que las rocas, sobre todo antiguas, no se nos presentan las más veces tal como se formaron, sino cambiadas posteriormente por los agentes que han venido actuando sobre ellas. Primitivamente serían análogas a las modernas, y lo prueban los restos orgánicos que aprisionan, pero ahora aparecen transformadas por las acciones metamórficas.

Clasificación y descripción de las rocas.

Clasificación.—A expensas de un número muy corto de rocas primitivas, formadas al consolidarse la corteza del globo, han ido produciéndose en el transcurso de los tiempos la pluralidad de materiales que existe al presente. Ya hemos visto en la Geología dinámica que los agentes de la destrucción y la creación son principalmente: al exterior, la denudación y el transporte, la sedimentación y las acciones de los organismos, y en el interior, la temperatura elevada, la presión, los gases y el vapor de agua. En vista de esto, se comprende que, más que la composición, distinga a las rocas unas de otras la estructura y manera de presentarse, como resultados naturales de su origen último.

Atendiendo a dichos caracteres, al origen o a la antigüedad, y prestando a unos más importancia que a otros, según el criterio de los diferentes geólogos, se han hecho numerosas clasificaciones de las rocas, que nosotros no vamos a exponer aquí, limitándonos a presentar la que adoptamos, basada en tres consideraciones fundamentales referentes al origen, modo de presentarse y composición de los materiales terrestres, según los cuales se agrupan del modo siguiente:

- I. Rocas de origen exclusivamente mineral.
 1. En masa o eruptivas.
 - a) Profundas. b) En venas. c) En corrientes.
 2. Estratificadas.
 - a) Cristalinas. b) No cristalinas.
- II. Rocas de origen orgánico.

I.—ROCAS DE ORIGEN EXCLUSIVAMENTE MINERAL.

Las rocas de este grupo se han formado unas en el interior y otras en la superficie del globo, pero ni aun estas últimas por la

intervención de organismos animales o vegetales. Preséntanse, como hemos dicho, de dos modos diferentes: las en masa, componiendo grandes macizos, corrientes, venas o diques, y las estratificadas, en capas superpuestas, tomando estas últimas parte mucho más extensa que las anteriores en la constitución de la zona externa del globo asequible a nuestra observación.

Rocas en masa.—De una manera general puede deducirse que todas estas rocas están compuestas de dos clases de elementos: unos *feldespáticos* o *ácidos*, generalmente blancos, o al menos claros, y otros *básicos*, que son negros u oscuros. El elemento claro preponderante, según sea feldespato ortoclasa o plagioclasa, permite inducir, aun sin el auxilio de análisis, si la potasa, la sosa o la cal dominan entre los óxidos ligeros, así como la determinación del elemento obscuro (mica, anfíbol, piroxeno), que puede ser ferro-magnésiano, ferroso y calizo, o simplemente magnésiano, indica cuál de las bases es la preponderante.

Estas rocas forman en conjunto el grupo denominado *rocas en masa* o de *origen interno* o *eruptivas* por oposición a las estratificadas.

Siguiendo la clasificación del profesor H. Rosebusch, de Stuttgart, dividiremos las rocas en masa en las tres clases siguientes: *a)* Rocas profundas o consolidadas en el interior de la corteza; *b)* Rocas en venas, solidificadas durante el período de su salida o erupción, y *c)* Rocas en corrientes solidificadas en el exterior.

a) **ROCAS PROFUNDAS.—Granito.**—Esta familia es la más impor-

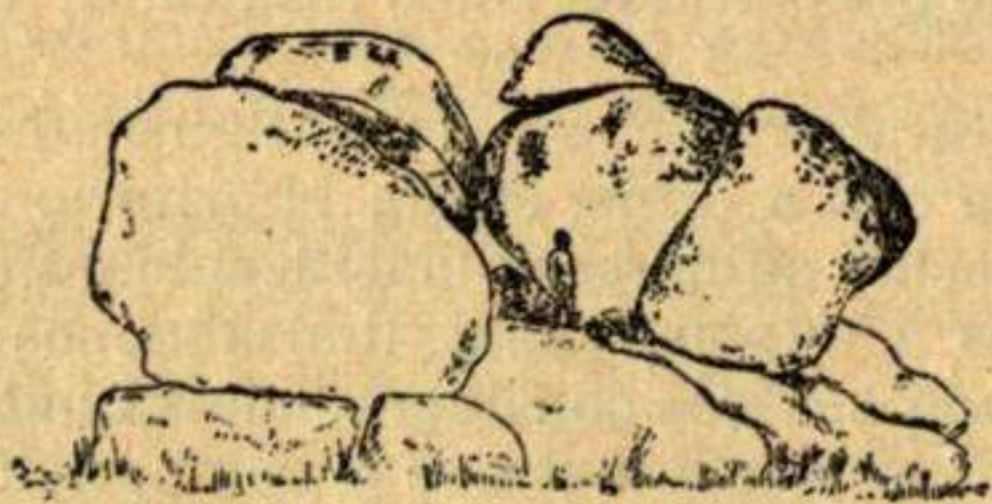


Fig. 147.—Aspecto del granito descompuesto.

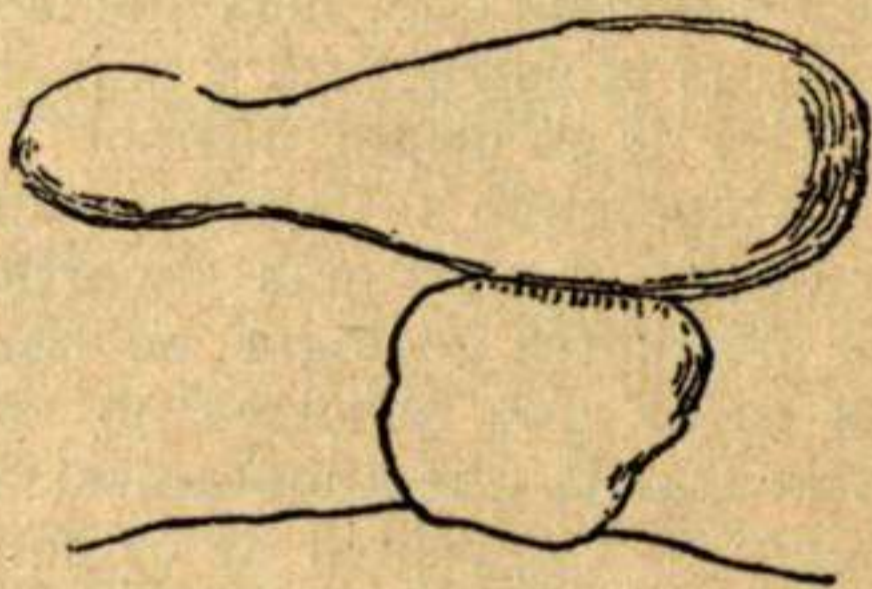


Fig. 148.—El canto cochino, al N. de Manzanares (Guadarrama). Granito descompuesto.

tante de la clase primera. Pertenece a ella rocas de estructura granudo-cristalina, cuyos elementos se han consolidado todos próximamente al mismo tiempo, desarrollados con cierta igualdad en todos sentidos y formadas por cuarzo, ortosa con algo de plagioclasa y mica (fig. 134), sustituido a veces total o parcialmente este último mineral por anfíbol o piroxeno, y como elementos accesorios apatito, berilo, turmalina, casiterita, etc. Los granitos pueden tener el grano de diferente grueso, o ser más o menos porfíricos o pizarrosos, lo que da lugar a diversas variedades.

Por la acción de los agentes atmosféricos, los granitos originan masas redondeadas (fig. 147), que resultan esparcidas en extensas

áreas, siendo a veces muy caprichosas las formas de ciertas moles enormes sostenidas en equilibrio casi inestables sobre otras de la misma naturaleza, que se conocen con el nombre de *piedras caballerías*, de las que hay hermosos ejemplos en la Sierra de Guadarrama (figura 148). La acción química de la atmósfera transforma el fel-despato en caolín, la mica en productos cloríticos y arcilla, quedando sueltos, en virtud de su inalterabilidad, los granos de cuarzo en estado de arena.

El granito compone comarcas enteras de 30, 40 y más leguas cuadradas, constituyendo montañas y sierras de formas redondeadas en todas las grandes cordilleras del globo. En nuestra Península ocupa extensas regiones en Galicia, N. de Portugal, Salamanca y en las Sierras de Gredos y Guadarrama. Se emplea en la construcción y en el empedrado de las calles, debiéndose elegir para estos fines las variedades de grano igual con sus elementos de tamaño medio y ricas en cuarzo (1). Los minerales de estaño de las provincias de Zamora, Salamanca y Orense, los cobres de Huesca y otras localidades, muchos filones plomizos de Linares y las fosforitas de Cáceres están enclavados en rocas graníticas.

Sienita.—A la familia de los granitos sigue la de la *sienita*, que se diferencia de aquélla tan sólo por faltarle el cuarzo o por contener muy poco. Los antiguos usaron profusamente en monumentos y decoración de edificios la procedente de Siena, en Egipto, de donde le viene el nombre. Es una piedra que recibe un bello pulimento como el granito, y muy agradable por el contraste del color blanco lácteo del feldepato con el negro intenso de la mica o del anfíbol. En España existe en la provincia de Sevilla y también en las Sierras de Guadarrama y Nevada, aunque no con la abundancia que el granito.

b) ROCAS EN VENAS.—Las rocas comprendidas en la segunda clase son granudas o porfíricas y constituyen venas o diques en el seno de otras (fig. 137). Entre ellas son las principales los granitos de dos micas, blanca o negra, y la llamada *pegmatita*, generalmente pobre en mica y muy rica en ortosa, cuyo cuarzo, que está empastado en el feldepato, suele ofrecer contornos regulares. Es importante esta roca porque se halla con mucha frecuencia transformada en caolín, el cual se utiliza como material cerámico. Se encuentra como la anterior, constituyendo venas en el seno de los otros granitos en la provincia de Toledo, Sierra de Guadarrama, Galicia, etc.

c) ROCAS EN CORRIENTES.—Estas han adquirido su consistencia en la superficie de la corteza terrestre, corriendo al aire libre, muchas veces en estado flúido o pastoso, y recibiendo entonces el nombre genérico de *lavas*, que surgen a nuestra vista como materias más o menos pastosas o fundidas de los volcanes en actividad,

(1) El que se usa en Madrid procede principalmente del Berrocal de Cerceda, a unos 10 kilómetros al N. de la estación de Villalba.

o en el de polvo y piedras lanzados por ellos, según dijimos, y se denominan por esto *rocas neovolcánicas* o *eruptivas modernas*, encontrándose otras en el seno de la corteza terrestre, que, por presentarse del mismo modo que éstas, se induce que deben haber aparecido análogamente en tiempos remotos de la vida del globo, y se las llama *eruptivas antiguas* o *paleovolcánicas*.

Pórfidos.—Al último grupo de los ahora mencionados pertenecen los *pórfidos cuarcíferos*, rocas esencialmente ácidas, en las que generalmente predominan la ortosa y el cuarzo en cristales porfiricos destacándose de la pasta (fig. 135); de ellos hay numerosos representantes en diversos puntos de la Sierra de Guadarrama, en los Pedroches de Córdoba, Sierra Morena, etc.

A esta misma clase y a la sección de las *porfiritas* en general, rocas que son más básicas que los pórfidos, y en que entran como elementos esenciales las plagioclasas y piroxenos, anfíboles o micas, corresponden los *pórfidos verde y rojo antiguos*, así llamados por su estructura y el uso que los egipcios y romanos hicieron de estos vistosos materiales para mausoleos, esculpir bustos y fabricar vasos. Son piedras en las que de un fondo rojo o verde se destacan cristales blancos de feldespato. En nuestro Museo de Pinturas pueden verse objetos diversos fabricados con estas bellas porfiritas, sumamente duras de tallar, lo que aumenta su valor.

Todas las familias de las rocas neovolcánicas se pueden reunir en dos grandes grupos, a saber: *traquitas* y *basaltos*, ácidas las primeras y básicas las segundas.

Traquitas.—Son rocas ácidas, o por lo menos neutras, de colores claros en la mayoría, no muy densas y formadas por la asociación del sanidino (ortosa vítrea) en grandes cristales, plagioclasa a veces, con uno o más silicatos ferromagnésicos de los grupos de las micas o anfíboles. Su estructura es granuda, porfírica o vítrea, y constituyen corrientes o mantos derivados de los volcanes. Su nombre alude a la aspereza que suelen ofrecer al tacto, debida a su estructura porosa. En nuestra Península hay rocas plagioclásicas del grupo traquítico (*andesitas*) en el cabo de Gata y en la provincia de Murcia, especialmente en los alrededores de Cartagena, y en las islas del mar Menor. Abundan estas rocas en forma de corrientes en numerosos parajes volcánicos, y las verdaderas traquitas sanidínicas, porosas, en las Canarias, Azores, etc., y en la cordillera de los Andes juegan un importante papel. Cuando están sometidas a la influencia de los vapores sulfurosos que emanan a veces de los volcanes, se transforman en alumbre, como sucede en el cráter del Teide en Tenerife, y aconteció en épocas anteriores en Mazarrón (Murcia).

En rocas traquíticas arman las mejores minas de plata nativa del Perú y algunas de Hungría.

La traquita se considera como el equivalente moderno de la sienita por la cantidad de sílice que contiene. También hay unas traquitas cuarcíferas (*liparitas*), que corresponden a los granitos.

Vidrios volcánicos.—A la serie vítrea de estas rocas pertenecen la *obsidiana* y la *pedra pómez*, materias feldespáticas en estado amorfo acompañadas de bastante sílice. La primera es compacta, de fractura concoidea, de color negro o verde botella, jaspeada a veces de rojo obscuro y lustre vítreo intenso, lo que permitía construir espejos a los indios mejicanos (*espejo de los Incas*); éste y otros pueblos antiguos, como los *guanches*, primitivos canarios, y aun algunos salvajes actuales, las utilizan para fabricar armas de piedra y demás instrumentos cortantes, gracias a los agudos filos que se producen en esta roca al romperla. Las rocas volcánicas vítreas son ricas en microlitos y productos de desvitrificación, y se hallan en el Vesubio, así como en el cabo de Gata y en el Teide, donde forman el suelo de las Cañadas y corrientes y masas esféricas colosales, a modo de inmensas gotas desprendidas de ellas; también abundan en la cordillera de los Andes.—La *pedra pómez* es de colores claros, gris, ceniza o amarillento, de estructura cavernosa o celular, y tan porosa que flota sobre las aguas, a causa del aire contenido en sus cavidades, siendo áspera al tacto por la misma causa. La mayor parte de la que corre en el comercio procede de las islas volcánicas que rodean el S. de Italia. Reducida a polvo, sirve, merced a su aspereza, para pulir las maderas, el marfil, los cueros y el pergamino.

Basaltos.—Bajo este nombre se designa una familia de rocas básicas, pesadas a causa de su gran riqueza en magnetita, negras o de colores muy oscuros, granuladas o porfíricas y aun compactas, formadas la mayor parte por la asociación de una o más plagioclasas y piroxeno, más rara vez mica y anfíboles, siendo la presencia del olivino muy característica de muchos de estos materiales (basaltos propiamente dichos). Algunos contienen nefelina y otros minerales análogos, sustituyendo parcial o totalmente a los feldespatos. Las lavas basálticas son las dominantes entre las volcánicas de las islas del Atlántico y en los modernos volcanes del Antiguo y Nuevo Mundo. Forman aglomerados de detritos cavernosos sueltos (*lapillis*), escorias y a menudo mantos de estos últimos extendidos por la superficie, que los españoles han llamado *malpaíses*, aludiendo a la esterilidad de los campos que componen, y que abundan en Canarias, Fernando Póo y en la América Central y Meridional. Existen en nuestra Península basaltos, en sus cuatro regiones, de antiguos volcanes apagados: son nefelínicos en la Mancha, feldespáticos en Olot, Castellfullit (Gerona), y cerca de Lisboa. Las rocas basálticas toman a veces por retracción, al enfriarse la lava que las dió origen, formas prismáticas especiales que originan caprichosas columnas (fig. 149).

Rocas estratificadas.—Entre éstas, unas son siempre de origen metamórfico y están dispuestas en fajas o capas con una estructura pizarroso-cristalina, por lo que se llaman *estratificadas cristalinas*; mientras que otras son compactas o clásicas (pág. 161) y deben su estratificación no a la disposición en zonas, capas o lenteji-

llas de los minerales que las constituyen, sino a presentarse en lajas o capas superpuestas todas de la misma naturaleza, siendo la mayoría detríticas. Estas últimas son de origen sedimentario y componen el grupo de las rocas *estratificadas no cristalinas*.

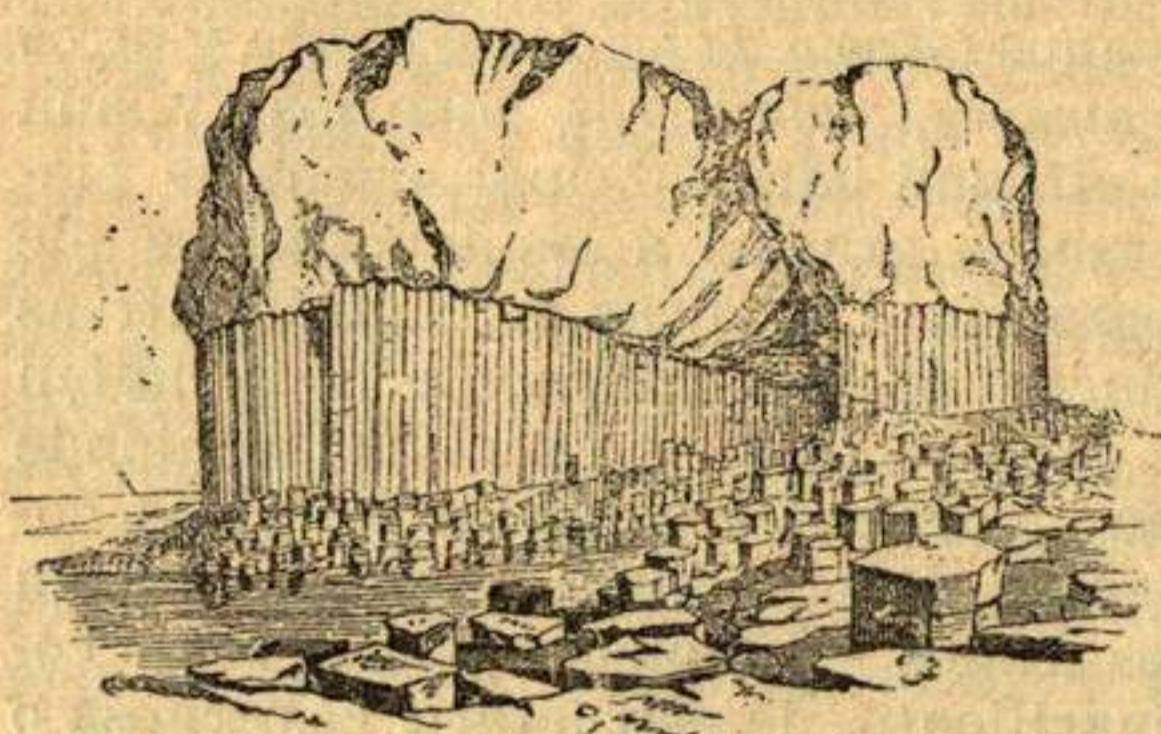


Fig. 149.—Columnata basáltica de la isla de Estaffa (Escocia).

del gneis, la de las pizarras cristalinas, la caliza cristalina y la cuarcita. Las dos primeras familias constituyen una serie de rocas muy interesantes, llamadas *estrato-cristalinas*, por tener caracteres de los dos grupos a que este nombre se refiere, pues se encuentran en capas como las sedimentarias, pero constituídas por elementos cristalinos como las en masa.

Gneis.—Se compone de los mismos minerales que los granitos y sienitas, pero dispuestos en capas, bandas, membranas o en zonas lenticulares alternadas que aparecen estratificadas en conjunto (figura 150), en vez de hallarse orientados los distintos elementos mineralógicos en todas las direcciones, como sucede en las rocas cristalinas en masa. Este tipo, que es el ordinario, pasa unas veces a granitos, cuando es poco perceptible su aspecto hojoso, y otras a pizarras cristalinas, acentuándose dicha estructura y disminuyendo los feldespatos. Existe gran variedad de gneis, según el tamaño y disposición de sus elementos (granitoideo, glandular, micáceo, etcétera), y según los minerales accesorios que encierren (turmalinífero, granatífero, etc.). Forman potentes capas, que constituyen a veces dilatadas regiones del globo, notables por su riqueza en filones metalíferos, pudiendo servir en nuestro país como ejemplo, entre otros, los criaderos de plata de Hiendelaencina. Entre las regiones gneísicas de la Península, la Sierra de Guadarrama y Galicia, y sobre todo la primera, son notables por sus muchas variedades de gneis, mereciendo citarse El Escorial y San Ildefonso como localidades clásicas.

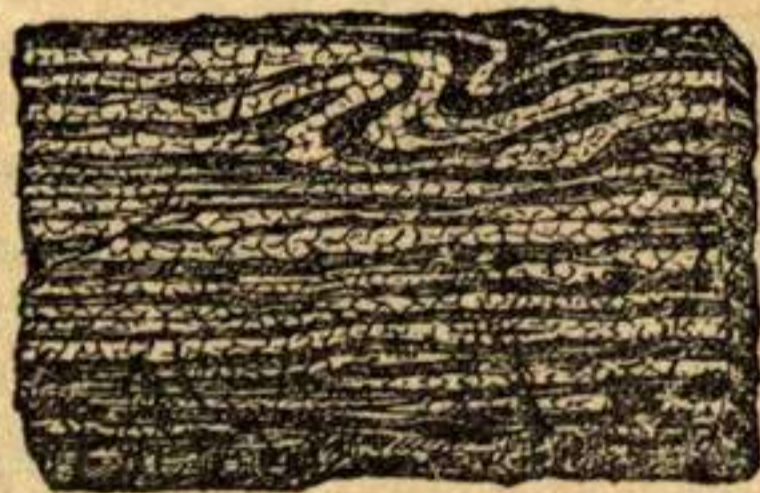


Fig. 150.—Estructura del gneis ordinario.

a) **ESTRATIFICADAS CRISTALINAS.**—Forman el grupo de rocas más antiguo y uno de los más profusamente extendidos en la corteza de nuestro globo. Constituyen el basamento sobre el que se han depositado todos los terrenos sedimentarios o detríticos, y son, puede decirse, el lazo de unión entre lo eminentemente cristalino y lo ya francamente sedimentario. Las principales son: la familia

Pizarras cristalinas.— Cuando los gneis pierden gran parte del feldespato, se convierten en rocas esencialmente pizarrosas, y menos compactas que aquéllos, formadas de cuarzo y mica (micacitas), anfíbol (anfíbolitas), talco (talcoitas), clorita (cloritocitas), etc., conocidas con el nombre genérico de *pizarras cristalinas*. Pero otras veces se producen rocas pizarrosas semejantes por transformación de las sedimentarias normales bajo la influencia de agentes que las han modificado. Son notables por contener diseminados en su masa diversos minerales, tales como granates, rutilos, etc., y otros, sobre todo especies del grupo de silicatos de alúmina anhidros (pág. 159). Sierra Nevada y Galicia son en nuestra Península regiones clásicas de pizarras cristalinas, que tampoco faltan en algunos puntos de la de Guadarrama, como el Puerto de Malagón en El Escorial, Buitrago, El Cardoso, La Iruela, etc., localidades ricas en los citados minerales.

Las pizarras cristalinas pasan a las comunes cuando son muy finos sus elementos y se mezclan con ellos otros detríticos.

Calizas cristalinas.— Ofrecen toda estructura sacaroidea (figura 102), siendo generalmente notables por contener dispersos en su masa cristales de minerales diversos, sobre todo micas (*cipolino*), piroxenos y anfíboles (*hemitrena*). Constituyen formaciones lenticulares, a veces de gran espesor, en el seno de las pizarras cristalinas y en terrenos más modernos; frecuentemente son magnésicas, transformándose en oficalcias (pág. 159). Se usan en la estatuaria, en la construcción como material decorativo y también para hacer cal viva. En la Sierra de Guadarrama existen en El Escorial, en Somosierra, y particularmente en Robledo de Chavela, donde se explotan; pero donde abundan extraordinariamente es en Sierra Morena y en la Nevada.

Cuarcita.— Es una roca constituida por granos de cuarzo tenazmente enlazados por un cemento silíceo también. Constituye ciertas capas o lechos que se hallan inter-estratificados y alcanzando notable espesor con los materiales antedichos y otros de eras posteriores. Las modernas pasan insensiblemente a areniscas silíceas, de las cuales sólo difieren por haber adquirido una gran cohesión y compacidad, merced a la influencia de causas metamórficas.

b) **ESTRATIFICADAS NO CRISTALINAS.**— Una parte de estos materiales son rocas simples (como la caliza, la siderita, la limonita, el yeso, la sal común y la dolomia), y las demás de naturaleza clásica, figurando entre ellas las siguientes:

Arcillas.— En la Mineralogía se ha dicho (pág. 167) lo más interesante que conviene saber de estos materiales, los cuales abundan en casi todos los terrenos. Sabemos también (pág. 43) que la arcilla es una substancia impermeable, y hemos visto el papel que como tal juegan sus capas cuando son profundas en la distribución de las aguas subterráneas. Cuando los depósitos de arcillas, y sobre todo de la plástica, se hallan en la superficie, constituyen lugares pantanosos y tierras de cultivo *frias*, como se llaman por los agrónomos.

En cambio, si el terreno es excesivamente arenoso, y, por tanto, demasiado poroso, incoherente y de poco jugo, se mejora o enmienda agregándole arcilla o marga.

Pizarras arcillosas o de tejado.—Son rocas hojosas, de color variable, grano muy fino, cuya composición química, tomada en globo, es la de un silicato de alúmina, y que proceden del endurecimiento y metamorfismo de las arcillas. Sus elementos son sumamente menudos y contienen a veces, además de los clásticos o restos arcillosos, otros silicatos cristalinos formados en la misma roca (mica, quistolita, andalucita, etc.). De algunas variedades se pueden sacar grandes lajas delgadas que se usan para escribir y para tableros de mesas, techumbres y análogas aplicaciones, y son las llamadas pizarras de tejado. En nuestro país existen y se utilizan, entre otras localidades, en Bernardos (Segovia), Villar del Rey (Badajoz), Sierra Morena, Galicia, etc. Las que contienen pirita se usan para la fabricación del alumbre. Hay unas pizarras impregnadas de betún, que por destilación producen el llamado *aceite de esquisto* (1), empleado para el alumbrado, y una brea análoga a la obtenida de las hullas.

Areniscas.—Están formadas de granos de cuarzo (*asperones, piedras de arena*) o de caliza, trabados por un cemento más o menos coherente, silíceo, calizo o arcilloso; frecuentemente contienen mica, minerales verdes, etc. Pasan insensiblemente a *conglomerados* de cuarzo o de caliza y a *brechas* (figuras 132 y 133). En algunos conglomerados y brechas se hallan cementados cantos de naturaleza distinta. Forman las areniscas gruesas capas de origen sedimentario y costero, cuando son marinas, correspondientes a períodos geológicos muy variados, sirviendo las de grano más fino y compacto para afilar las herramientas o como piedra de construcción.

Tobas.—Consisten en aglomeraciones de cenizas volcánicas, restos menudos de rocas eruptivas en general, que prensados y endurecidos, y a menudo cementados por caliza, arcilla, aragonito, zeolitas, etc., de formación posterior, originan capas de piedra más o menos coherente. Las rocas así producidas se llaman *volcánicas fragmentarias* para distinguirlas de las en masa que provienen de materia lávica enfriada, como los basaltos y traquitas antes descritos. Constituyen la mayor parte de los cráteres de los volcanes actuales. Existen tobas basálticas en la Mancha y, sobre todo, en Canarias.

Arenas, gravas y cantos rodados.—Son fragmentos sueltos resultantes del desecho de rocas de diversa naturaleza, pero sobre todo cuarzosas, por ser esta una substancia tan abundante como poco alterable, arrancados de sus primitivos yacimientos, redondeados

(1) La palabra *esquisto*, aunque generalizada entre nosotros modernamente, no es castiza, debiendo decirse *esquita*, si se refiere a la propiedad que posee la roca de dividirse en hojas, y *pizarra*, si se trata de la roca arcillosa metamórfica, que ofrece dicha estructura.

y depositados por el viento, las aguas o los hielos. Su tamaño es variable, llamándose arenas las más finas, y gravas y cantos, las mayores.

Si, más tarde, los restos pétreos que produce el desecho de las rocas por los agentes geológicos se enlazan mediante una substancia cementatoria, constituyen las areniscas o los conglomerados, y si, por el contrario, van siendo triturados y mezclados unos con otros en la superficie del suelo, resultan las diversas *tierras arables*, que son el residuo inalterable o insoluble de la descomposición de las rocas, más o menos mezclado con substancias orgánicas. Los feldespatos y otros silicatos se transforman en materias terrosas (caolín o arcillas), al paso que van quedando sueltos los elementos más indestructibles, como cristalitos de mica, anfíbol, piroxeno, y, sobre todo, los de cuarzo; así las tierras son arcillosas, calizas, cuarzosas o arenosas y turbosas, según la naturaleza de los detritos minerales u orgánicos que preponderen en ellas.

II.—ROCAS DE ORIGEN ORGÁNICO.

Se agrupan en esta categoría las rocas formadas, ya por el crecimiento y desarrollo de organismos vegetales o animales *in situ*, ya por el transporte y subsiguiente acumulación de sus restos. Se pueden dividir, según la substancia mineral que en ellas predomine, en calcáreas, fosfatadas, silíceas y carbonosas.

Calcáreas.—Casi todas las calizas no cristalinas contienen mayor o menor cantidad de conchas, macro y microscópicas, huesos u otros restos orgánicos, y a veces, en tal número, que la roca es un agregado de ellos. Tal sucede en la caliza nummulítica (fig. 151), cuyo nombre alude a estar formada por innumerables foraminíferos, de los así llamados porque son discoidales y tienen, por lo general, el tamaño de pequeñas monedas. Algunas calizas muy ricas en fragmentos de conchas de moluscos reciben el nombre de *lumaquelas*, y si aquéllas conservan bellos reflejos nacarados, rojos, verdes, etcétera, se designan con el epíteto de *nobles*, muy usadas en otro tiempo para construir cajas, vasos decorativos y en incrustaciones.



Fig. 151.—Caliza nummulítica.

La *creta* o *tiza* es una caliza térrea, blanca y muy pura, casi totalmente constituida por innumerable cantidad de conchas microscópicas de rizópodos o foraminíferos predominantes, y con ellos pequeños moluscos, espículas de esponjas calizas y otros restos de curioso aspecto en el campo del microscopio (fig. 152). Constituye esta substancia grandes capas en Meudon (Francia) y en varias localidades de Europa. También los restos de corales forman a veces por sí solos rocas calizas y verdaderas cretas.

Fosfatadas.—Entre las rocas más importantes de este grupo figuran las brechas huesosas que contienen algunas cavernas, como

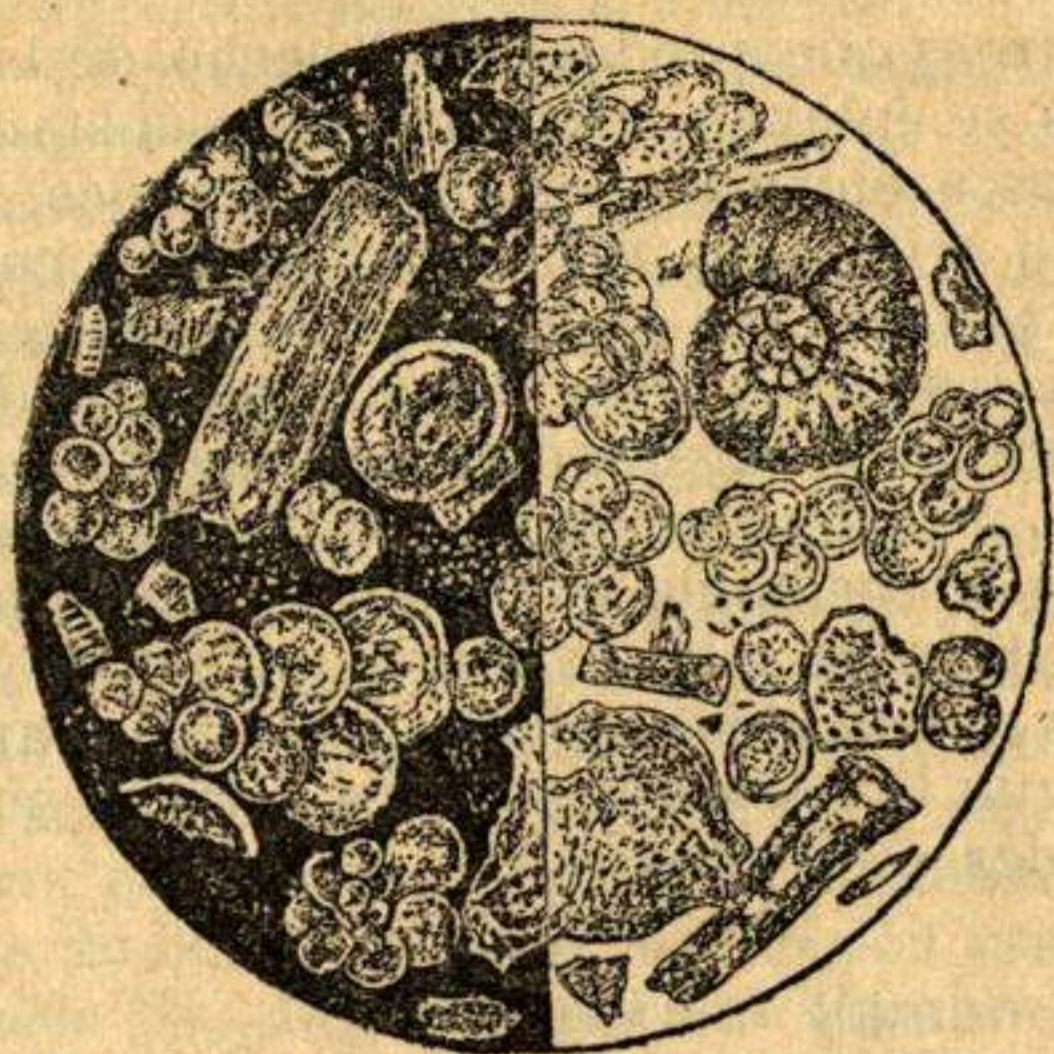


Fig. 152.—Aspecto de una creta rizopódica vista al microscopio.

la de Pedraza en Segovia, y otras muchas en el resto de España y en el Extranjero; las calizas con dientes y escamas de peces; los depósitos formados por la acumulación de excrementos fosilizados de animales vertebrados (*coprolitos*), y, sobre todo, el *guano*, substancia térrea amarillenta rojiza o pardusca, de olor amoniacal, rica en fosfatos de cal y materias nitrogenadas, con predominio ya de los primeros (fosfoguanos) o de las segundas (nitroguanos), y constituida, según se ha dicho ya en otro lugar (pág. 53), por el amontonamiento de los excrementos, señaladamente

de las aves marinas, y a veces dentro de las cavernas. El guano es muy usado en agricultura como abono, y para mejorar las tierras empobrecidas por un cultivo largo e intenso; pero para emplearle hay que mezclarle con tierra u otras substancias inertes, sin las cuales sería demasiado fuerte y perjudicaría a los vegetales.

Silíceas.—La más importante de las rocas silíceas formadas por organismos es el tripoli (pág. 137) o tierra de diatomáceas, substancia blanca, terrosa, producida por la agregación de los caparzones silíceos (de ópalo) de dichas algas microscópicas habitantes de las aguas dulces, y, sobre todo, saladas. También muchos pedernales, ricos en espículas de esponjas silíceas, pueden considerarse como rocas silíceas orgánicas. En Morón (Sevilla) hay un depósito inmenso de marga diatomífera, que en ocasiones pasa a un verdadero tripoli.

Carbonosas.—Los carbones, descritos en la Mineralogía, componen, a veces, masas bastante considerables para ser considerados como rocas. Tal sucede en las minas de hulla, en las cuales constituye generalmente el combustible capas de algunos pies de espesor, entre otras, de arcilla o pizarra.

En la parte N. de los continentes y en las altas y bajas mesetas, donde se reúnen ciertas condiciones de que ya nos hemos ocupado (página 51), se encuentran extensas formaciones de turba o turbales, que son también rocas carbonosas. La turba es el carbón mineral más moderno, de color pardo amarillento hasta negro, cuya composición varía poco de la que es propia de la fibra vegetal. Forma depósitos, constituidos por agregados informes, más o menos apre-

tados, de plantas herbáceas y acuáticas que conservan generalmente su aspecto y su estructura. Abunda en la parte N. de Europa y América, donde es objeto de una explotación activa como combustible, especialmente en Holanda. En España se hallan algunos depósitos en las sierras centrales, como la de Guadarrama y la cordillera Ibérica, en la faja del litoral mediterráneo, en Asturias, etcétera.

La turba se usa como combustible, aunque no de superior calidad, tal como se saca de los turbales, sin más que dejarla secar cuando se consume en el punto de extracción; pero si ha de ser exportada, se la prensa para disminuir su volumen, y, lo que es aun mejor, se la destila, con lo cual queda en los aparatos en que se hace esta operación un carbón de igual forma que la turba no destilada, dando los mismos productos que la madera.

Apéndice.

METEORITOS COMO ROCAS EXTRATERRESTRES

Hemos dicho («Introducción», pág. 11) que con el nombre de meteoritos se designan las materias pétreas o metálicas que caen en ocasiones del espacio, acompañadas de detonaciones y ráfagas luminosas. Creyendo los antiguos que se formaban en el aire por acumulación de substancias que éste tenía en suspensión, los llamaron *aerolitos*; pero conviene desterrar este nombre, que implica una idea completamente errónea, como ya demostraron los sabios en el siglo XVIII, probando que proceden del espacio celeste, siendo atraídos cuando pasan cerca de la Tierra.

Los meteoritos son fragmentos irregulares, de tamaño variable: desde el de un grano de arena hasta el de masas de muchos kilogramos, pero sin llegar nunca a un metro cúbico, y que a veces sólo consisten en un polvo tenue. No son aquéllos unos cuerpos independientes, sino porciones desprendidas de masas cósmicas mayores. Se distinguen, desde luego, de cualquier otra piedra por la costra o barniz, casi siempre negro, que los envuelve, y por el redondeamiento particular de sus aristas, debidos a la combustión de su superficie al atravesar la atmósfera con velocidad planetaria.

No es la misma la composición de todos los meteoritos: los unos están constituídos por hierro metálico, unido principalmente a un fosfuro de hierro y níquel (*hierros meteóricos*), al paso que los otros son de naturaleza preponderantemente pétreo, aunque también puedan contener a veces algún hierro en granos muy pequeños (*pedras meteóricas*). En la composición de estos segundos dominan minerales conocidos en las rocas terrestres, como el olivino, los piroxenos y las plagioclasas, y con mucha mayor escasez otros, entre ellos tres o cuatro que hasta ahora no se han hallado en nuestro globo. Algunos meteoritos contienen grafito, y aun carbono amorfo y carburo

de hidrógeno, siendo de notar que no se ha encontrado en ellos ningún mineral hidratado. Su estructura íntima es casi siempre claramente cristalina y, algunas veces, clástica, así es que se parecen por su composición y estructura a las rocas volcánicas terrestres y sus tobas, pero se distinguen de ellas por la ausencia del agua, como acabamos de decir, y de todos los silicatos en cuya composición entra ésta o en cuya génesis interviene.

Varios meteoritos han caído en nuestra Península, y de casi todos existen ejemplares en el Museo Nacional de Ciencias Naturales, siendo el mayor de ellos un fragmento que pesa 144 Kg., próximamente, del que cayó el 24 de diciembre de 1858 en Molina (Murcia).

En 1891 se descubrió en los Estados Unidos una región sembrada de trozos de hierro niquelífero, alguno de los cuales llega a 460 kilogramos, y que se supone de un meteorito caído y triturado en época remotísima.

GEOLOGÍA HISTÓRICA

GENERALIDADES

Dada una idea general del estado presente del globo en sus diversos aspectos, que ha sido el objeto de los tratados precedentes, es necesario indagar ahora sus estados anteriores, hacer la historia de los cambios sucesivos que ha experimentado el planeta, evolucionando paulatinamente, hasta llegar al estado actual; tal es el asunto de la parte de la Geología que lleva por esta razón el nombre de *Geología histórica*. Pero las investigaciones de esta rama de la ciencia de la Tierra no pueden extenderse a todos los estados anteriores, sino tan sólo, dentro de su fase planetaria, a aquellos de los cuales aun quedan huellas reconocibles; de las fases anteplanetarias, así como de los primeros tiempos de la consolidación de la corteza, es imposible hacer otra cosa que meras conjeturas, fundadas en los datos astronómicos.

Nuestro globo está constituido actualmente, como ya sabemos, por una masa flúida, en el centro de la cual hay un núcleo denso, probablemente metálico; cubre a esta masa una envoltura pétrea, y sobre ella otra acuosa, estando todo rodeado por una zona gaseosa más externa, o sea la atmósfera. Es evidente que las huellas de los tiempos geológicos pasados han de hallarse solamente en la envoltura sólida del planeta, y que, como el anterior, nos es imposible observarlo, habremos de limitar el campo de nuestras investigaciones a la corteza terrestre. Ahora bien; hemos dejado apuntado, además, que dicha corteza está formada principalmente, en la parte accesible a nuestra observación, de estratos, o sea rocas sedimentarias, puesto que las masas principales se hallan cubiertas las más veces por ellas, y las volcánicas ocupan sólo extensiones limitadas. En estos estratos, pues, tiene que buscar el geólogo los

datos para reconstituir la historia de las vicisitudes del planeta; de aquí el dictado de *estratigráfica* con que también se suele calificar la *Geología histórica*.

Formación sucesiva de la corteza terrestre.—Después de un período de tiempo que debió ser extremadamente largo, fué precipitándose en forma de lluvia el agua interpuesta en la atmósfera primitiva; el líquido, al caer sobre el suelo caliente, volvería al estado de vapor para condensarse nuevamente más tarde. Estas lluvias y evaporaciones repetidas contribuirían, en gran manera, al enfriamiento de la corteza terrestre, produciendo, además, en ella sucesivas modificaciones. De aquella primera corteza, de la cual no deben quedar restos que conserven el estado en que entonces se constituyó, proceden principalmente los materiales a expensas de los cuales se sedimentaron los ulteriores estratos, los cuales han ido sucesivamente formándose y destruyéndose, de suerte que los más modernos son el rehecho de los que les precedieron, en virtud de esa constante obra de transporte de los continentes a los mares por los ríos, y de la sedimentación; procesos de que oportunamente hemos tratado.

Fósiles.—En el interior de los estratos aparecen, cuando se cortan éstos para abrir un pozo o un desmonte, y, a veces, sólo por el arado de las tierras, restos variados de los animales y plantas convertidos en piedra, que pertenecen a los seres que vivían mientras se estaban depositando aquellos materiales entre los que fueron enterrados. A estos restos se llaman *fósiles*, nombre que se aplica igualmente a todas las huellas que han dejado los organismos, como las señales de la marcha de ciertos animales (fig. 153) y las meras impresiones de las hojas, frutos y troncos que se ven entre las lajas de caliza, de ciertas pizarras, etcétera.

Se comprende bien que, cuando era sedimento fino y pastoso lo que hoy es roca compacta, pudiera aprisionar los despojos que en aquél caían, y como el mar ha ocupado siempre extensión mucho mayor que los continentes, y en su seno ha habido condiciones más propicias para la conservación de las partes duras de los animales, la mayoría de los fósiles pertenecen a organismos marinos, y entre ellos dominando las conchas petrificadas de los moluscos y erizos de mar.

Fosilización.—El conjunto de los procesos en cuya virtud los restos de los seres vivos de otras épocas cambiaron la materia



Fig. 153.—Huellas de *Cheirotherium* sobre una arenisca.

que los constituía por materia mineral, se llama *fosilización*. Por lo que a la sustitución de materia se refiere, es en todo semejante a la epigénesis (pág. 84), siendo el agente que la determina las aguas de circulación profunda.

En general, sólo se han conservado las partes duras de los animales o las plantas, pudiendo citarse como casos excepcionales los grandes elefantes primitivos hallados entre los hielos del N. de la Siberia, provistos de su carne y pelo, y los insectos y arañas en-



Fig. 154.—Molde externo (b) e interno (c) de la concha a.

cerrados en el ámbar y otras resinas fósiles. En los demás casos, las partes blandas han entrado en putrefacción sin dejar huella en los depósitos, también entonces blandos, en que yacían, y mucho antes de que las porciones resistentes de aquellos seres se fosilizaran. Esto hace pensar que gran número de seres antiguos no han podido legarnos rastros de su existencia, siendo

la fosilización un hecho excepcional, y que, por lo tanto, el cuadro de la vida de aquellos tiempos, formado en vista de las fósiles que conocemos, ha de ser forzosamente muy incompleto.

Los fósiles más frecuentes son los carbones minerales, los dientes, huesos, cuernos, las conchas de almejas y caracoles, los caparzones de cangrejos, etc., que han perdido los primeros gran parte de su hidrógeno y oxígeno por combustión lenta, como los animales, por la putrefacción, su substancia orgánica. En ciertos casos, la materia dura vegetal o animal ha sido sustituida lentamente, molécula a molécula, por la mineral, que debía estar disuelta en el agua, conservándose los menores detalles de la estructura orgánica, hasta el punto de ser posible reconocerla luego en los fósiles; tal es el caso de las verdaderas *petrificaciones*, entre las cuales merecen citarse como ejemplos más notables las maderas convertidas en sílice.

Más abundantes que las verdaderas petrificaciones son los *moldes*, tanto externos o *impresiones* como internos (fig. 154), cuyo origen es fácil comprender recordando que los vegetales o animales que los produjeron han sido enterrados inmediatamente después de su muerte en la roca mientras estaba blanda todavía y no se había consolidado. Hay estratos literalmente cuajados de moldes externos de conchas, como la caliza de Colmenar, y otros, arcillosos o pizarrosos sobre todo, plagados de impresiones de vegetales.

Paleontología.—El estudio de los fósiles es objeto de una ciencia especial llamada *Paleontología*, que constituye el complemento indispensable del de los seres que hoy viven en la Tierra. Mediante los restos fósiles, y con el auxilio de conocimientos de la organización de los vegetales y animales actuales, reconstituye el pa-

leontólogo las formas antiguas, y como es lógico suponer que entre ellas y el conjunto de condiciones en que vivían existiesen las mismas estrechas relaciones que vemos entre los organismos actuales y el medio en que se desarrollan, de aquí que sea dable inducir por los datos paleontológicos las circunstancias climatológicas, geográficas y de todo género que imperaban en las épocas anteriores en la superficie terrestre. Comparando, pues, entre sí los fósiles encontrados en los diversos estratos a partir de un extremo de la serie, no sólo se llega a conocer la vida que se desarrolló en cada una de ellos, esto es, su *fauna* y su *flora* o el conjunto de animales y de plantas propias de un período o región determinada, y, por tanto, a establecer su cronología, sino que también, y esto es de la mayor importancia en Biología, se averigua cómo han ido modificándose y diferenciándose los seres vivos a la par del medio que los rodeaba, llegándose a descubrir así las variaciones que han sufrido las faunas y floras. Sin los fósiles sería, pues, imposible establecer la cronología geológica, ni inducir la climatología de las pasadas edades, ni el origen y naturaleza de los depósitos (terrestres, fluviales, lacustres o marinos).

Los fósiles pueden estudiarse en dos aspectos distintos: como medio de conocer las pasadas organizaciones (Paleozoología y Paleofitología), o como testimonio de la edad de las formaciones en que yacen (Paleontología estratigráfica).

Cronología geológica.—Los principios en que se funda ésta, hijos de la observación e indicados anteriormente en parte, son los siguientes:

1.º La superposición de los estratos implica que los inferiores se han depositado antes, y son, por tanto, más antiguos que los que descansan sobre ellos.

2.º Siendo el proceso de sedimentación sumamente lento las más veces, la obra de la formación de los estratos supone grandes períodos de tiempo. Se considera de tanta más duración un período geológico cuanto más gruesos o de mayor espesor son los estratos originados durante él.

3.º La concordancia de varios estratos significa que no sufrió interrupción el proceso que los dió origen; por el contrario, la discordancia es señal evidente de aquella interrupción; en muchas ocasiones, un larguísimo período, durante el cual estuvo emergida una región, ha debido mediar entre la sedimentación de sus estratos inferiores y la de los que sobre ellos reposan (fig. 143). La división de los tiempos geológicos se funda principalmente en estas discordancias.

4.º Cada grupo de estratos contemporáneos, aunque estén en regiones apartadas unas de otras, posee un conjunto de especies y géneros de animales y plantas que le son propias y peculiares, y sirven para reconocerle. Estas formas se denominan *fósiles característicos*, por ser privativos de una edad, época o período. Así, los trilobites (fig. 157) distinguen al período primario; los ammonites

(figura 164), al secundario; los mamíferos superiores, al terciario y el cuaternario.

División de los estratos y de los tiempos geológicos.—Después de haber establecido, en virtud de los principios ahora enunciados, la extensión, tanto horizontal como vertical, y el carácter paleontológico de las capas homogéneas, el geólogo puede formar grupos con ellas que correspondan a *períodos*. De este modo, a cada división estratigráfica, caracterizada siempre por una fauna especial, corresponde un período o división cronológica. He aquí las dos series de divisiones admitidas hoy en Geología, partiendo del estrato:

Divisiones estratigráficas.	Divisiones cronológicas.
Estrato o capa	»
Hilada (conjunto de capas).....	»
Piso (idem de hiladas)	Edad.
Serie o sección (idem de pisos).....	Epoca.
Sistema (idem de series).....	Periodo.
Grupo (idem de sistemas).....	Era.

Con arreglo a estas dos series, estratigráfica y cronológica, se consideran los tiempos geológicos divididos en las siguientes eras, a contar desde la más antigua:

- 1.º Era fundamental o arcaica. *sin animales / agnostónica, Estrato-cristalina*
- 2.º — primaria o paleozoica.
- 3.º — secundaria o mesozoica.
- 4.º — terciaria o cenozoica.
- 5.º — posterciaria o cuaternaria y moderna (1).

GRUPO ARCAICO

Caracteres.—Constituyendo vastas regiones, y por debajo de los materiales más antiguos de origen indudablemente sedimentario, se ha reconocido en diversas regiones del globo un conjunto de rocas a la vez cristalinas y estratificadas, generalmente muy desviadas de la horizontal y de composición uniforme. Se considera este grupo como el primitivo de la corteza de nuestro planeta, y por eso se le llama *arcaico* o *fundamental*. Las rocas que le constituyen son el gneis y las pizarras cristalinas (micacitas, talcitas, cloritocitas, etc.), las más veces muy plegados, y en su seno yacen, bajo forma de masas lenticulares de mayor o menor extensión y

(1) En esta división no hay realmente homogeneidad cronológica, puesto que la duración de las dos primeras eras fué inmensamente mayor que la de las restantes; pero no se basa principalmente la clasificación de que se trata en la cantidad de tiempo transcurrido, sino también en la localización y especificación cada vez más acentuada de las condiciones físicas y biológicas del globo, a que deben su variedad las últimas eras, lo cual exige distinguirlas entre sí.

espesor, calizas sacaroideas, grafito, serpentina y diversas materias peridóticas y piroxénicas de carácter eruptivo. En ninguno de sus estratos se ha hallado vestigio de fósil *indudable*, lo cual induce a pensar que en aquellos remotos tiempos nuestro planeta no ofrecía aún condiciones compatibles con la vida de los animales ni de las plantas (1).

Origen de las rocas arcaicas.—No han llegado aún los geólogos a un acuerdo acerca del origen de estos materiales, que es evidentemente distinto del de las demás rocas que veremos en las edades sucesivas: unos los consideran como los sedimentos iniciales del globo, primitivamente análogos a los actuales; pero habiendo adquirido después su estado cristalino por fenómenos de metamorfismo general, que viene obrando sobre ellos desde los más remotos tiempos; otros geólogos ven en estas rocas, por el contrario, el producto, no de la sedimentación en el fondo de los mares, sino de la conglutinación de substancias minerales en la época del primer enfriamiento de la corteza terrestre, que ha tomado después la estructura pizarrosa bajo la influencia de los agentes metamórficos. Es muy probable, sin embargo, que para explicar los caracteres peculiares de los materiales arcaicos haya que considerarlos hijos de estas tres causas combinadas: cristalización de las materias disueltas en los primeros mares; disgregación ulterior por las aguas de estos mares de la corteza originaria con sedimentación de sus detritos, y, por último, esfuerzos orogénicos que perturbaron los primordiales sedimentos y produjeron concomitantemente enérgica salida de rocas eruptivas.

Distribución.—Los terrenos arcaicos ocupan dilatadas regiones del Antiguo y Nuevo Mundo. En la América del Norte, donde se hallan a descubierto en extensiones extraordinarias, alcanzan un espesor de más de 65.000 pies.

En todos los grandes macizos continentales se ha encontrado la prueba de que estas antiguas y poderosas formaciones estratocristalinas componen el cimiento universal sobre el que descansan los demás terrenos sedimentarios.

Las rocas arcaicas desempeñan un gran papel en la mitad occidental de nuestra Península, pues, formando el suelo de Galicia, constituyen también el de Entre Douro e Minho, Traz os Montes y Beira, en Portugal, para correrse por Zamora, Salamanca, Extremadura y provincias de Córdoba y Sevilla hasta el Guadalquivir, donde son bruscamente cortados. Del arcaico de Extremadura parte otra zona de la misma naturaleza, que cruza la Meseta central española y separa las dos Castillas, formando las Sierras de Gredos

(1) Se ha insistido en que ciertas calizas serpentinosas arcaicas contienen las huellas de colonias de un foraminífero llamado *Eozoon*, que sería la reliquia más antigua de la vida. Esta opinión, aunque sostenida por sabios tan autorizados como Dawson y Carpenter, ha sido combatida por otros que sólo ven en tales huellas trabajos de corrosión de la roca que las presenta. En vista de esto, queda en pie la duda al menos de la existencia de organismos en el terreno arcaico.

y Guadarrama. En el Mediodía, el macizo arcaico más importante es el de Sierra Nevada. Contienen estas rocas diversos minerales útiles, entre los que pueden citarse los de plata de las célebres minas de Hiendelaencina; los de estaño de las provincias de Zamora, Salamanca y Orense; el caolín de Galicia, Sierra de Guadarrama y Toledo; la serpentina de la Serranía de Ronda, etc.

GRUPO PRIMARIO O PALEOZOICO

Caracteres generales y división del grupo.—Descansando sobre los materiales arcaicos existe en muchas regiones del globo un conjunto de rocas sedimentarias, casi nunca horizontales, sino profundamente alteradas y plegadas (fig. 155), que alcanza un considerable espesor. Estas rocas son principalmente pizarrosas y cuarcitosas en las formaciones de la base y calizas en las del coronamiento del mismo. El nombre de grupo *primario* que lleva alude a ser el



Fig. 155.—Estratos paleozoicos en pliegues invertidos.

primero francamente sedimentario que se halla en la corteza terrestre y formado en condiciones semejantes a las actuales, procediendo de abajo a arriba, y el de *paleozoico*, a ser el que alberga los más antiguos vestigios indudables de seres orgánicos.

Teniendo en cuenta los caracteres de los estratos que constituyen este grupo, por lo que se refiere a su posición, naturaleza, fauna y flora, se divide en los siguientes sistemas o períodos, en el orden del más antiguo al más moderno: 1.º, *cámbrico*; 2.º, *silúrico*; 3.º, *devónico*, y 4.º, *permocarbónico*.

Sistema cámbrico.—Se inicia por él el grupo paleozoico, constituido por gruesos bancos de conglomerados, cuarcitas y pizarras con caracteres de rocas sedimentarias formadas a escasa profundidad. En la parte inferior, el sistema es pobrísimo en restos de vida, pero en la superior se halla ya una fauna, llamada *primordial* por Barrande, algo más abundante, que no contiene ninguna huella de organismo terrestre, siendo la mayor parte de sus restos espongiarios, hidrozooos y aun seres más complicados, como los *Orthoceras* (figura 156), conchas, a veces enormes, de cefalópodos.

Sistema silúrico.—Rocas como las del sistema anterior, encerrando, en ocasiones, bancadas de caliza, constituyen este sistema, en el que alcanza la vida mucho mayor desarrollo. También se ven entre estas rocas diabasas y dioritas con tobas asociadas, que corresponden a los productos volcánicos de aquel remoto tiempo. El silúrico puede llegar a un espesor total de tres kilómetros.

Todos los grupos de seres representados en el cámbrico y otros muchos lo están también en el silúrico, en el cual abundan particularmente los *Trilobites* (fig. 157) iniciados en el sistema anterior, que son artrópodos cuyo cuerpo estaba dividido en tres lóbulos longitudinales, a lo que alude su nombre; hacen su aparición los peces, que empiezan por los de esqueleto cartilagíneo y cubiertos de placas esmaltadas.

Por último, se conocen representaciones de la vida aérea en el silúrico, sobre todo por escorpiones, pero no la existencia de ningún vertebrado terrestre, y entre las plantas, solamente la de las criptógamas (licopodios y helechos).

Sistema devónico.—Hállase en ciertas regiones una serie de capas que descansan sobre el sistema anterior, consistentes, principalmente, en areniscas silíceas

rojas, pizarras arcillosas y calizas a las cuales se asocian diabasas y otros productos de antiguo volcanismo. Se cree que el devónico constituía sólo cuencas aisladas, y, en efecto, aparece mucho menos extendido que los otros sistemas del grupo que estudiamos.

Una abundante flora criptogámica cubrió la Tierra durante las edades que sucedieron al silúrico y los mares estuvieron poblados también por numerosos seres, y algunos característicos de la edad que nos ocupa: disminuyen los trilobites, y, en cambio, se desarrollan extraordinariamente las formas de peces, aunque sólo pertenecientes al grupo de los de esqueleto cartilagíneo, que nunca se osifica completamente y cuya cola consta de dos lóbulos desiguales

(*peces heterocercos*) (fig. 158), análogamente a como sucede en los esturiones o sollos actuales.

Sistema permocarbónico.—El coronamiento del grupo primario, el que puede decirse que cierra el mundo antiguo, está constituido por una vasta serie de capas que han recibido en conjunto el nombre que llevan, alusivo a los depósitos de

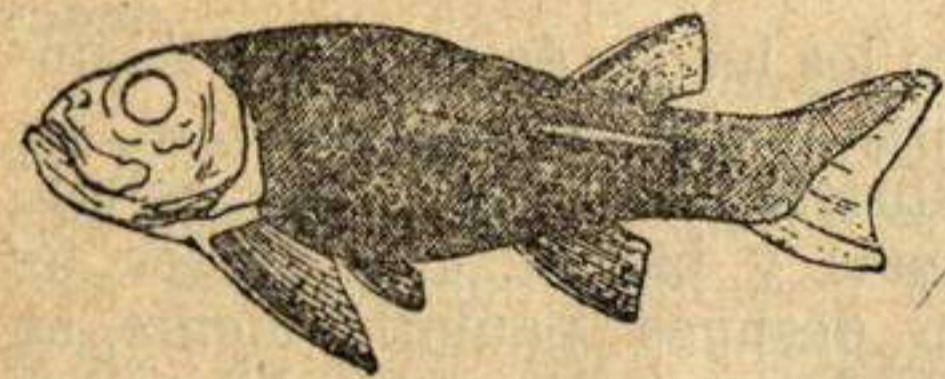


Fig. 158. — Pez paleozoico.

carbón que encierran, a veces, y que forman uno de sus caracteres distintos. Mas para dar una idea, siquiera sea ligerísima, de este sistema, hay que distinguir en él dos facies: una marina y otra continental.

Las rocas permocarbónicas de formación marina consisten, principalmente, en calizas compactas y homogéneas, que alcanzan enorme espesor y cuajadas de tallos de unos equinodermos llamados encrinites, así como de corales y foraminíferos. Abundan mucho en ciertas regiones los peces marinos.



Fig. 156.
Orthoceras.



Fig. 157.
Trilobites.

Las formaciones continentales, o de lagos y pantanos, se componen de areniscas, generalmente micáceas, pasando a conglomerados con capas de arcilla o de pizarra. El carbón yace en estos estratos en vetas de espesor variable, desde algunos milímetros hasta muchos metros, y todo indica que cada una de sus capas fué una espesa masa de vegetación desarrollada en una extensa llanura pantanosa, al modo de las actuales selvas tropicales, aunque poblada por especies más gigantescas aún. Esta vegetación, de prodigiosa abundancia y variedad, creció sobre suelos de lodo que componen hoy el estrato de arcilla, generalmente transformado



Fig. 159.—Impresión de helecho en pizarra.



Fig. 160.—*Calamites* (cola de caballo) fósil.

en pizarra, en que descansan siempre los lechos de hulla (1). Abundantes precipitaciones acuosas regaban entonces las tierras, arrastrando las corrientes a los lagos y estuarios grandes masas de materias vegetales mezcladas con arenas y barros. Las partes leñosas enterradas se transformaron después paulatinamente en carbón de piedra por combustión lenta fuera de la acción del oxígeno de la atmósfera, como anteriormente se explicó (págs. 50 y 51). De aquí resulta que las cuencas carboníferas se han originado de dos modos diversos: unas, por el enterramiento *in situ* de los árbo-

(1) La industria minera explota estas capas llevando las galerías hasta enormes profundidades y arrojando los peligros que son peculiares a esta explotación, además del de la inundación a que suelen estar muy expuestas. De la hulla se desprende a menudo formeno (*grisou* de los franceses), hidrocarburo que arde y detona mezclado con el aire en la proximidad de cualquier llama, causando la muerte de los mineros; este peligro se conjura por medio de la lámpara de Davy, modificada por Combes, en la que la llama está encerrada dentro de una tela metálica, que, como es sabido, enfría la mezcla gaseosa que forma la llama, impidiendo que ésta se produzca. Además, las minas de carbón se hallan expuestas a los incendios, y cuando éstos ocurren, hay que cegarlas e interrumpir durante años su laboreo.

les y maleza que en aquellas crecían, análogamente a ciertas turbas actuales, y otras por el transporte y acumulación de despojos vegetales acarreados por los torrentes y las costas donde las sucesivas inundaciones llevaban los detritos al mar y allí se iba gradualmente formando el depósito hullero.

En las cuencas carboníferas se encuentran escasos restos animales, aunque entre ellos hay representación de insectos, arácnidos, miriápodos, peces y anfibios; pero lo que abunda extraordinariamente son las plantas criptógamas, habitantes de los climas húmedos y sombríos, como los helechos (figura 159), las equisetáceas o colas de caballo (fig. 160) y las licopodiáceas (fig. 161), apareciendo en los depósitos del final de esta era algunos restos de plantas pertenecientes al grupo de los pinos; entre los vegetales antes citados, unos eran de dimensiones normales y formaban un espeso tapiz, pero otros adquirirían proporciones colosales, como los *Lepidodendron* (fig. 162) y *Sigillaria*, que alcanzaban 50 pies de altura y más, habiendo contribuido sus restos principalmente a la formación de la hulla.



Fig. 161.—Tronco de Licopodio fósil en pizarra.



Fig. 162.—Trozo de corteza de *Lepidodendron*.

Estado de la Tierra durante la era paleozoica. — El conjunto de circunstancias que presentan los estratos de esta edad, y, sobre todo, la fauna y flora que contienen, revelan los siguientes hechos generales:

1.º Mares poco profundos y muy intensos cubrían la superficie del globo. En su seno se depositaban cantos, arenas y barros, que más tarde se transformaron en conglomerados, areniscas y pizarras, estratos dominantes en los sistemas inferiores del grupo; en el silúrico se inician las calizas fosilíferas pertenecientes a mares más profundos, van desarrollándose en el devónico y adquieren al fin gran espesor en el permocarbónico.

2.º Del seno de estos mares fueron surgiendo islas, iniciación de los futuros continentes, poco extensas y de escasa elevación. Sus costas, así como las orillas del mar que las ceñía, experimentaban, frecuentes movimientos orogénicos que producían emersiones y sumersiones acompañadas, sobre todo al final del período permocarbónico, de erupciones de materias volcánicas. Durante los tiempos carbónicos acontecen en todo el globo grandes cambios en la distribución de los mares.

3.º El límite entre las tierras y los mares era oscilante e incierto, y estaba formado por una serie de estuarios en los que se des-

arrolló una fauna característica con peces, cangrejos y conchas de agua salobre o de ría; en las tierras bajas bañadas por dichos estuarios se inició durante el período silúrico la flora terrestre criptogámica, propia de lugares húmedos y poco iluminados, la cual, siempre en aumento, alcanzó extraordinario desarrollo en el último período, o sea el permocarbónico, restringiéndose al final.

4.º El clima indicado por dicha flora debió ser sumamente uniforme, sin estaciones, y la atmósfera tibia, rica en vapor de agua, opondría obstáculo al paso de los rayos luminosos solares.

5.º Este clima reinaba por igual en toda la superficie de la Tierra, porque la flora y la fauna son idénticas o casi idénticas en cuantos sitios existen formaciones paleozoicas contemporáneas: así la flora terrestre con su carácter tropical y la fauna marina, particularmente los corales constructores que contiene la caliza carbónica, se han descubierto en las formaciones de esta edad, tanto de las regiones más septentrionales como cerca del Ecuador.

Paleozoico español.— Los materiales de este grupo, de igual modo que los arcaicos, alcanzan en nuestra Península su máximo desarrollo al O. del meridiano de Madrid, dominando en Asturias y N. del antiguo reino de León, en Extremadura, Ciudad Real, Toledo, y en Andalucía en las provincias de Córdoba, Sevilla y Huelva, formando, entre otras, regiones tan importantes como la Sierra de Gata, Montes de Toledo y Sierra Morena. Al tratar de la hulla (página 170), nos hemos ocupado de la distribución general de los centros carboníferos de España y de su producción.

Todo indica que durante los períodos cámbrico y silúrico, y aun parte del devónico, se formó una gran depresión en la Península que invadieron los mares, los cuales se retiraron después en la época permocarbónica al N. y al extremo SO. En estos últimos tiempos paleozoicos se produce una serie de pliegues en las capas ya consolidadas de los sistemas anteriores, penetrando al mismo tiempo al través de ellas masas graníticas y porfídicas que se extienden desde el N. de Galicia hasta el valle del Guadalquivir.

Se han hallado algunos fósiles cámbricos en Sierra Morena y Asturias; más abundantes los silúricos en Almadén, provincias de Guadalajara, Teruel y Asturias, entre otras; devónicos abundantísimos en esta última y en las de Palencia y León, y numerosísimas impresiones de plantas en las pizarras de todas nuestras cuencas hulleras.

GRUPO SECUNDARIO O MESOZOICO

Caracteres generales y división del grupo.— Los materiales dominantes entre las rocas de esa edad son los habituales en los terrenos sedimentarios normales: areniscas, arcillas, margas y calizas. Es de notar que, a diferencia del grupo anterior, sólo por excepción se encuentra entre ellas alguna roca eruptiva, y nunca en masa considerable.

Los caracteres propios de la fauna y flora contenidas en los estratos secundarios indican organizaciones intermedias entre las de los tiempos paleozoicos y las de las eras terciaria y moderna, designándose por eso la secundaria con el nombre de *mesozoica*. Por ser lo más característico de ésta la existencia y abundancia de los grandes reptiles, es llamada por algunos *era megalosáurica*. El carácter general de la vida cambia radicalmente al llegar este periodo: los trilobites ya no existen y los cefalópodos están representados por nuevas formas: el mundo antiguo es reemplazado por faunas y floras de mayor complicación.

Atendiendo a las particularidades de los estratos y de su fauna y flora, se ha dividido este grupo en los siguientes sistemas, terrenos o periodos, comenzando por el más antiguo: 1.º, *triásico*; 2.º, *jurásico*, y 3.º, *cretácico*.

Sistema triásico.—Fórmanle, en general, depósitos de poco fondo. Se llama así por constar de tres miembros bien distintos litológicamente: uno de areniscas, otro de calizas y uno de arcillas y margas *abigarradas* (esto es, que ofrecen variedades de colores en bandas rojas, azules y verdes principalmente), y van acompañadas de sal (explotada en las salinas de Imón, en Guadalajara; Cabezón de la Sal, en Santander, etc.), y de grandes bancos de yeso que suelen contener dispersos cristales de aragonito y cuarzo hematideo.

La flora triásica es muy análoga a la permocarbónica, pero la fauna es ya bastante distinta, con muchos cefalópodos, entre ellos los *Ceratites* (fig. 163), característicos de este sistema; grandes anfibios, algunos de los cuales dejaron su huella en el suelo, entonces blando (fig. 153), y los primeros mamíferos conocidos, que eran pequeños marsupiales.

Sistema jurásico.—Los sedimentos de este sistema componen una gran serie de rocas fosilíferas que indican ya depósitos de agua profunda, en general margosas en la base, y que se van volviendo sucesivamente calizas, unas veces muy abundantes en corales y otras veces oolíticas, y mármoles de diversos colores. El nombre del sistema alude a su gran desarrollo en la cadena del Jura.

La flora jurásica ofrece carácter tropical y está constituida predominantemente por cica-dáceas y gimnospermas. La fauna presenta un aspecto mucho más variado que en los sistemas anteriores; hay en las formaciones marinas, que son las más extendidas, una abundancia extraordinaria de corales, de *Ammonites* (figura 164) y *Belemnites* (fig. 165), conchas de cefalópodos característicos del grupo secundario; innumerables moluscos, con algunos géneros propios de este sistema (fig. 166); se desarrollan como nunca lo han hecho antes ni después los reptiles, algunos de ellos gigan-



Fig. 163.—*Ceratites*.

tescos, unos voladores (*Pterodactylus*, fig. 167), nadadores otros (*Ichthyosaurus*, fig. 168), de una longitud de más de 24 pies, y el *Plesiosaurus* (fig. 169), y terrestres algunos, habiéndose encontrado formas colosales, como el *Diplodocus* y el *Atlantosaurus* del Colorado, en la América del Norte, cuyo esqueleto mide 30 m. de largo por 9 de alto; en fin, las primeras aves conocidas de gran talla y de curiosa organización, pues están provistas de verdaderos dientes en las mandíbulas, al modo de los reptiles, y de larga cola formada por numerosas vértebras (*Archæopteryx*, fig. 170).

Sistema cretácico.—Además de las rocas habituales en los terrenos sedimentarios, se suele



Fig. 164.—*Ammonites*.



Fig. 165.—*Belemnites*.

presentar en éste la creta, a lo cual debe el nombre que lleva, y de cuya composición y naturaleza nos hemos ocupado (pág. 54 y fig. 15). Esta roca, y otras que la acompañan, indican depósitos de mar profundo, aunque también las hay de poca hondura y litorales, con sedimentos margosos y arenosos. A la creta se asocian a menudo pedernales y yeso, y se interestratifica entre margas y areniscas verdes. El hierro de Somorrostro (Bilbao) y los depósitos de

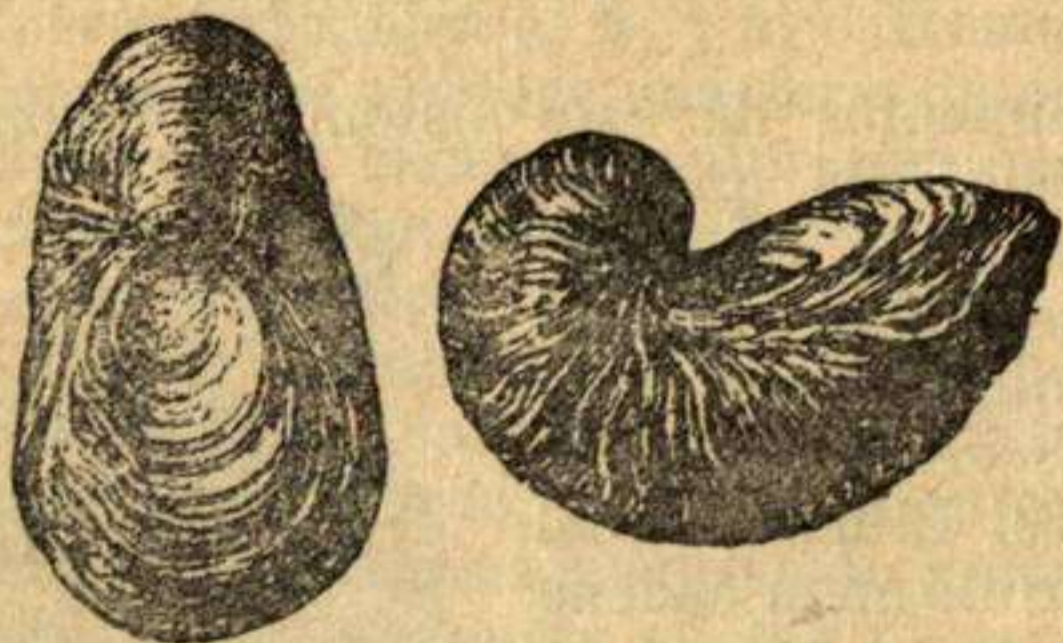


Fig. 166.—*Gryphæa arcuata*.

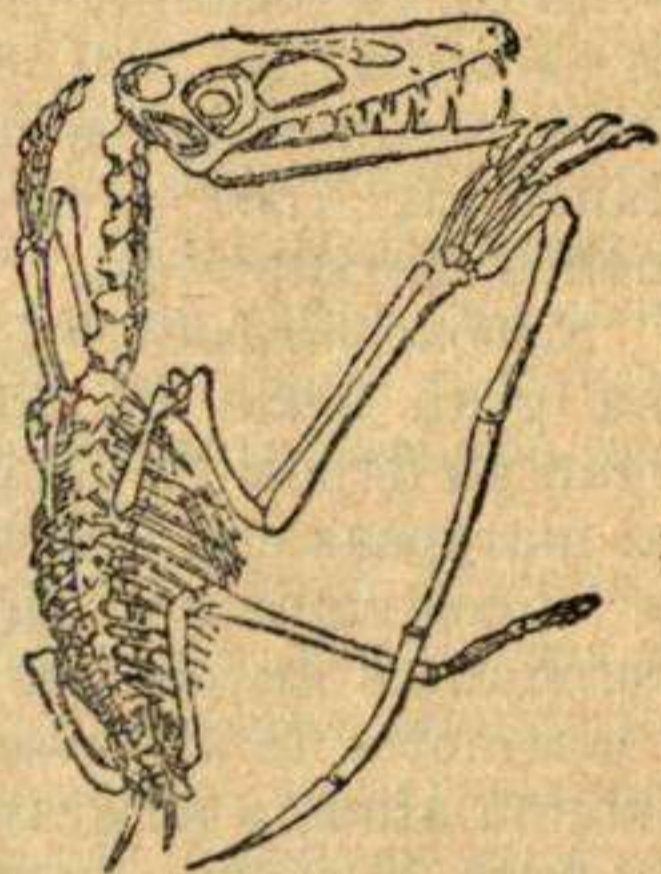


Fig. 167.—*Pterodactylus*.

lignito de Utrillas (Teruel) y Villaviciosa (Asturias), entre otros, se encuentran entre rocas de esta edad. En algunas regiones se explota una creta fosfatada muy rica como abono.

La flora terrestre cretácica tiene de característico el iniciar las dicotiledóneas, aunque predominan todavía los helechos y cicadáceas. En la fauna continúan los mamíferos, los peces y los reptiles de tipo jurásico, aunque menos abundantes y representados por distintas especies. Entre ellos es notable el *Iguanodon* de

Bélgica (fig. 171), que mide hasta 10 m. de largo por 4,36 de alto, animal herbívoro, que tiene caracteres de reptil y de ave. También es un reptil extraordinario el *Triceratops* del Colorado, cuyo

cráneo mide dos metros de largo y está armado de dos cuernos frontales y uno nasal (fig. 172). En los mares se desarrollan muchísimos moluscos, continuando el predominio de los *Ammonites*, las ostras formando bancos, equinodermos (fig. 173), arrecifes de corales, y los innumerables foraminíferos (fig. 174), cuyas microscópicas

conchas calizas, mezcladas con corales, espículas de esponjas y otros restos, constituyen la creta o tiza.

Estado de la Tierra durante la época secundaria.—La naturaleza,

disposición y fósiles que contienen los sedimentos mesozoicos ponen de manifiesto los siguientes hechos:

1.º Un clima tropical o subtropical reinaba uniformemente hasta en las regiones circumpolares, al comienzo de los tiempos secundarios; pero durante ellos se van acentuando diferencias climatológicas y estrechándose gradualmente la zona tropical, según demuestra, entre otros hechos, la emigración de los corales hacia el S. La atmósfera, al principio húmeda y obscura, llegó a ser más seca, pura y penetrada por los rayos solares, lo que permitió desarrollarse durante el cretácico una nueva flora con árboles de hoja caediza,

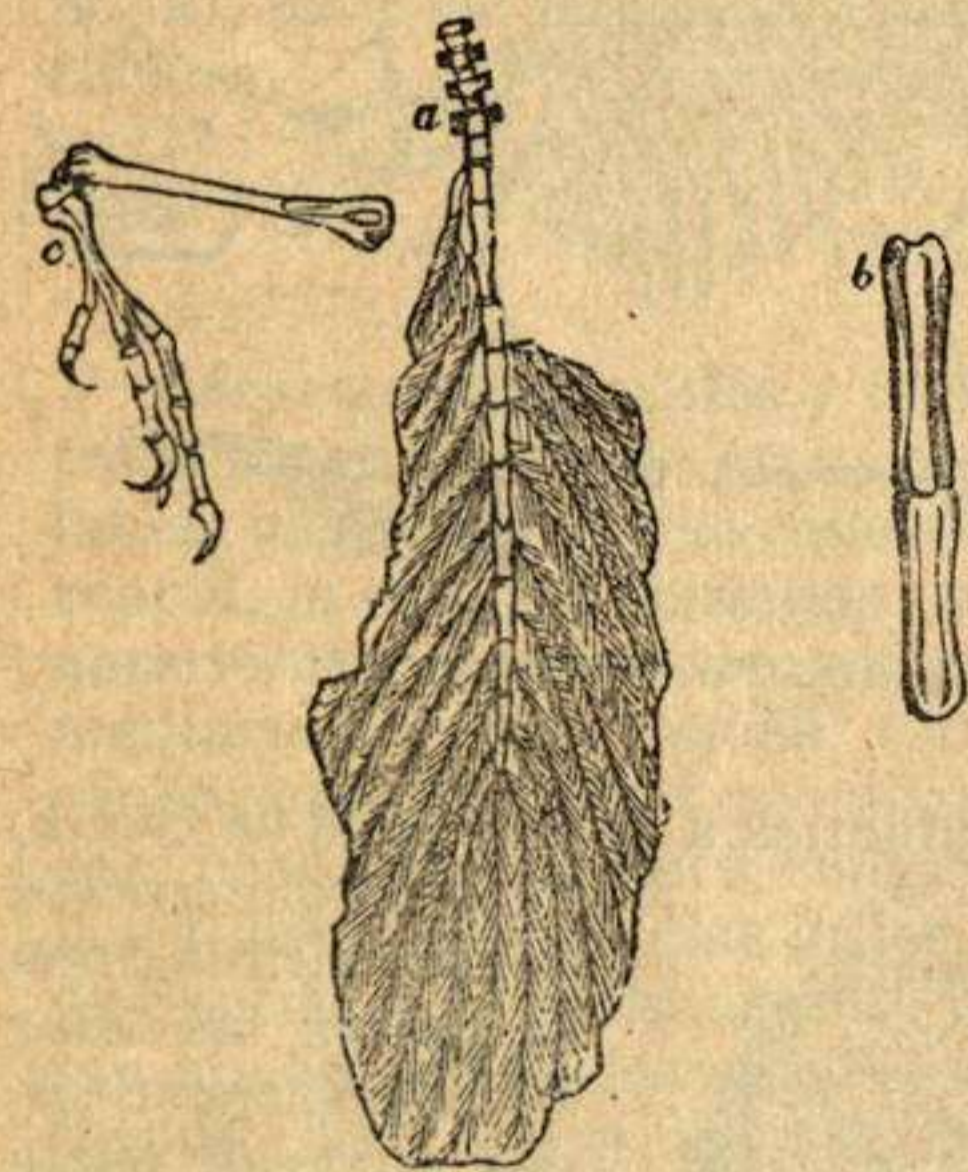


Fig. 170.—*Archæopteryx*: a, cola; b, vértebras que la constituyen; c, pata.

revelando la influencia de las estaciones. Cada vez se marcan diferencias más notables entre las faunas y floras del N. y las de la región mediterránea, lo que indica que los climas se iban acentuando a la par que las estaciones.

2.º Continúa durante los tiempos mesozoicos la emersión de los

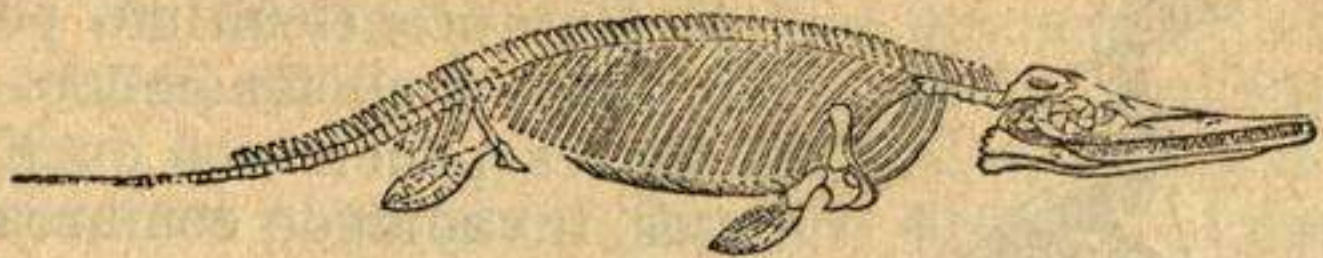


Fig. 168.—*Ichthyosaurus*.

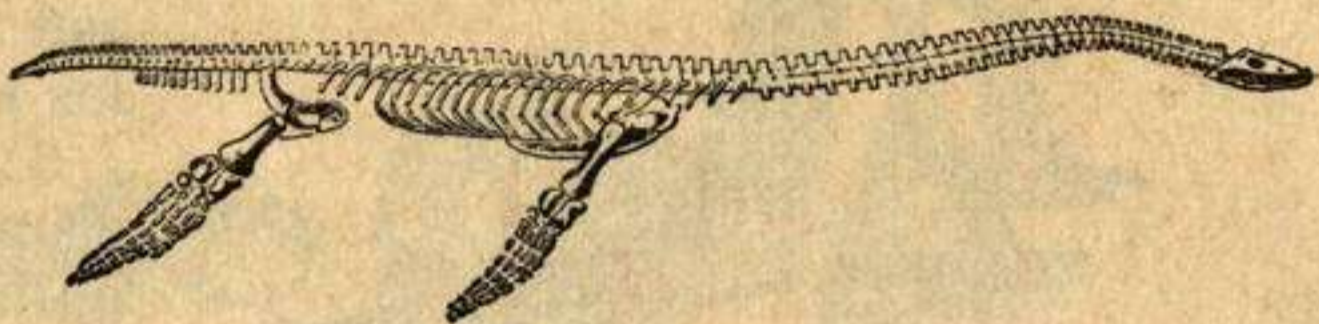


Fig. 169.—*Plesiosaurus*.

continentes, los cuales van ganando incesantemente en extensión. Existían en ellos dilatados estuarios poblados por faunas y floras especiales que nos han legado los restos de aquellos singulares reptiles mencionados y depósitos de lignito. Durante el último período, o sea el cretácico, ocurrió un fenómeno de grandísimo interés: los mares penetraron en el interior de los continentes, invadiendo comarcas emergidas desde lar-



Fig. 171. — *Iguanodon*.

ga fecha. Las condiciones geográficas indicadas por las facies con que se presenta este último sistema son tan variadas como en los tiempos actuales.

3.º Escasos fenómenos eruptivos turbaron la tranquilidad y lentitud con que se depositaban las rocas durante la época secundaria.

Distribución.— Los sedi-

mentos secundarios ocupan grandes extensiones en todo el globo.

Por lo que se refiere a nuestra Península, adquiere su máximo desarrollo, según una línea en zig-zag que, partiendo del cabo de Creus, termina en el de Peñas, en Asturias, para bajar desde aquí por la cordillera Celtibérica al cabo de la Nao, en la costa valenciana, y descender por la cordillera Penibética a la provincia de Cádiz;

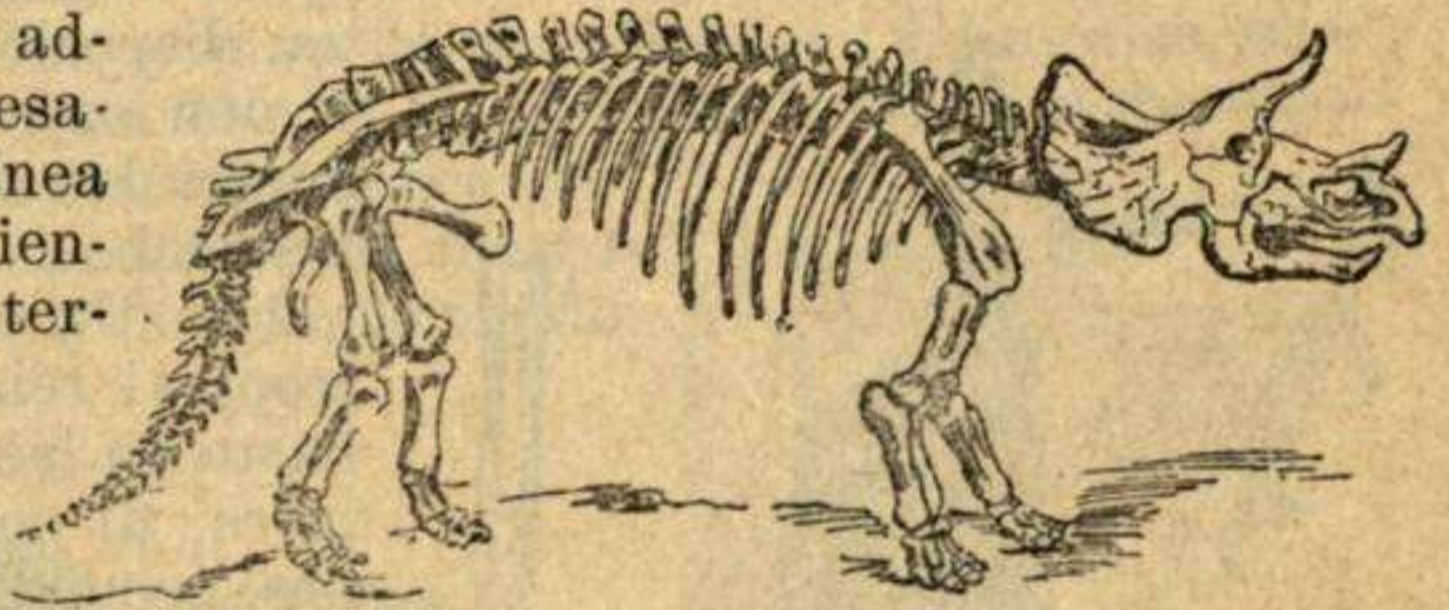


Fig. 172. — *Triceratops*.

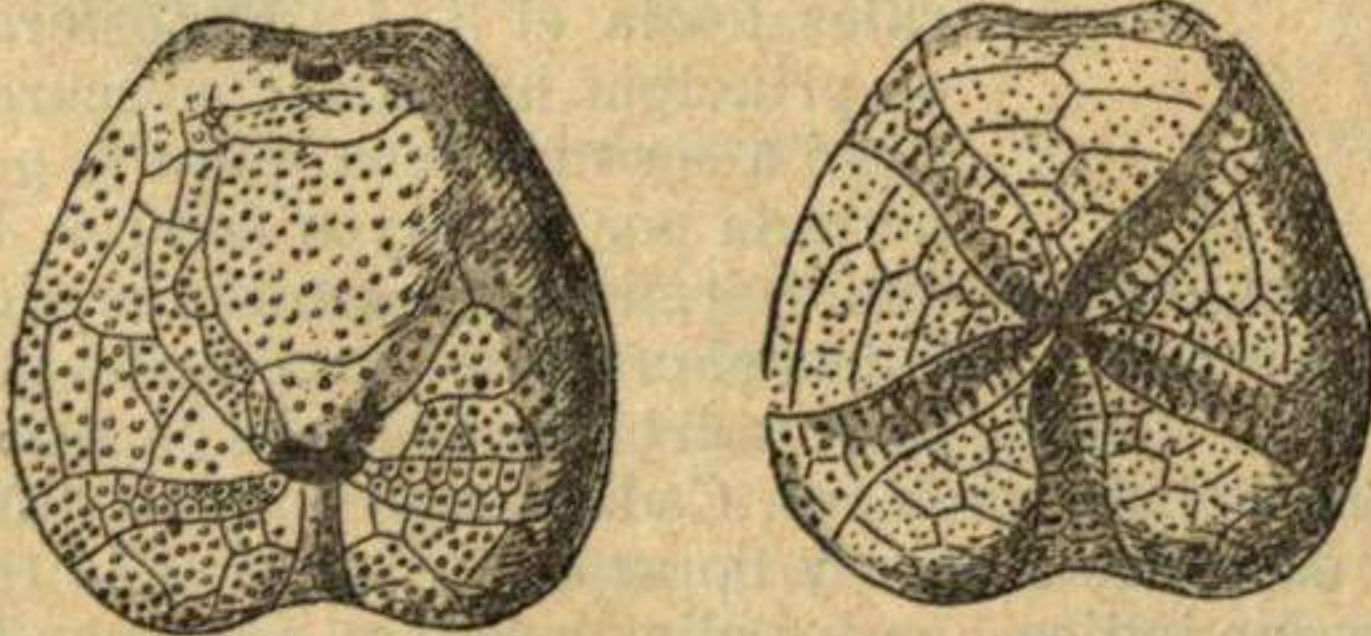


Fig. 173 — *Micraster cor-testudinarium*.

en la prolongación de esta última línea se hallan las islas Baleares, constituidas en gran parte por depósitos mesozoicos. Otras dos regiones formadas por esos terrenos existen en el litoral portugués. Las tres direcciones que siguen en su distri-

bución dichos depósitos de la mitad oriental de España parecen depender de las grandes fallas pirenaicas y de las del Ebro y Guadalquivir.

Hemos dicho antes que, durante el período cretácico, el mar penetró en el interior de los continentes, y de ello tenemos prueba también en el suelo español, donde alcanzó la invasión, realizada con relativa tranquilidad, hasta las mesetas centrales, emergidas desde los tiempos paleozoicos y, en parte, desde el arcaico, viniendo a quedar entonces tres pequeños golfos al N., en el centro y al Sur de la Sierra de Guadarrama.

Numerosos son en nuestro país los parajes donde existen abundantes fósiles secundarios, pudiendo citarse como localidades clá-

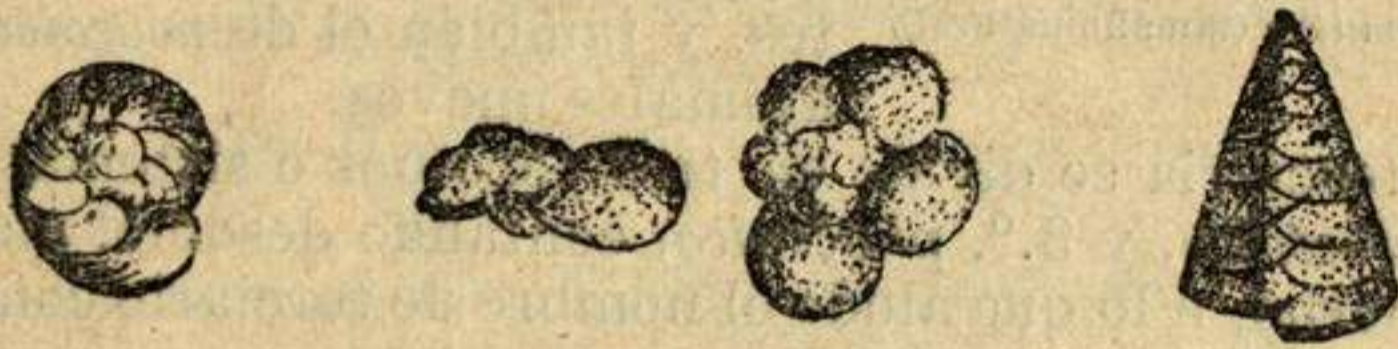


Fig. 174.—Foraminíferos de la creta (muy aumentados).

sicas Anchuela (Guadalajara), Albarracín (Teruel) y Cabra (Córdoba), para los jurásicos; Oviedo, Tortosa y Morella, para los cretácicos.

GRUPO TERCIARIO O CENOZOICO

Caracteres generales y división del grupo.—Los materiales pétreos constitutivos de este grupo poseen, con raras excepciones, una facies moderna, que se revela por sus colores claros y escasa coherencia, lo cual los distingue por punto general de los de las edades anteriores cuando se tiene alguna práctica de reconocer rocas sedimentarias. Por lo demás, estos materiales no son privativos del grupo, pues consisten en calizas, arcillas, margas, arenas y areniscas, pasando a veces a conglomerados, entre los cuales se intercalan algunas substancias útiles, como la sal (en Cardona, Villarrubia de Santiago, Espartinas, etc.), el azufre (en Hellín y Conil), el yeso, tan abundante en los alrededores de Madrid y muchísimos otros sitios de Castilla y Aragón; sulfatos de sosa (provincias de Madrid, Zaragoza y Logroño), y, a veces, mantos de pedernal.

Entre los sedimentos de esta era son frecuentes los productos volcánicos, y a ella pertenecen todos los de nuestra Península (página 189), y en mayor escala en otras regiones, revelando la gran actividad eruptiva que sucedió a la calma y tranquilidad reinantes durante los tiempos mesozoicos.

La fauna y flora terciarias ofrecen muy marcado carácter local, es decir, que en cada yacimiento se presentan formas propias; pero

como nota general del grupo puede darse el gran desarrollo que alcanzan durante él los mamíferos, no sólo por su tamaño, frecuentemente corpulento, sino también por el número de especies diversas y abundancia de individuos que entonces existieron. La flora



Fig. 175.—*Nummulites* (tamaño natural).

era asimismo rica en especies y exuberante, como para mantener el sin-número de mamíferos herbívoros que vivían a sus expensas. Tanto los animales como las plantas terciarias son los antecesores inmediatos de los que hoy existen, por lo cual se ha dado a esta era el nombre de *cenozoica*, que quiere decir de los animales recientes, y también el de *neozoica* o de los animales nuevos.

La era terciaria se divide en tres terrenos o sistemas: 1.º, *eocénico*; 2.º, *miocénico*, y 3.º, *pliocénico*, contando desde el más antiguo al más moderno, a lo que alude el nombre de terciario con que Lyell denominó al grupo.

Sistema eocénico.—Llámase también *nummulítico*, por estar constituido en muchas regiones por una caliza marina que alcanza millares de pies de espesor, formada por la agrupación de los foraminíferos así denominados (fig. 175). En los continentes se desarro-

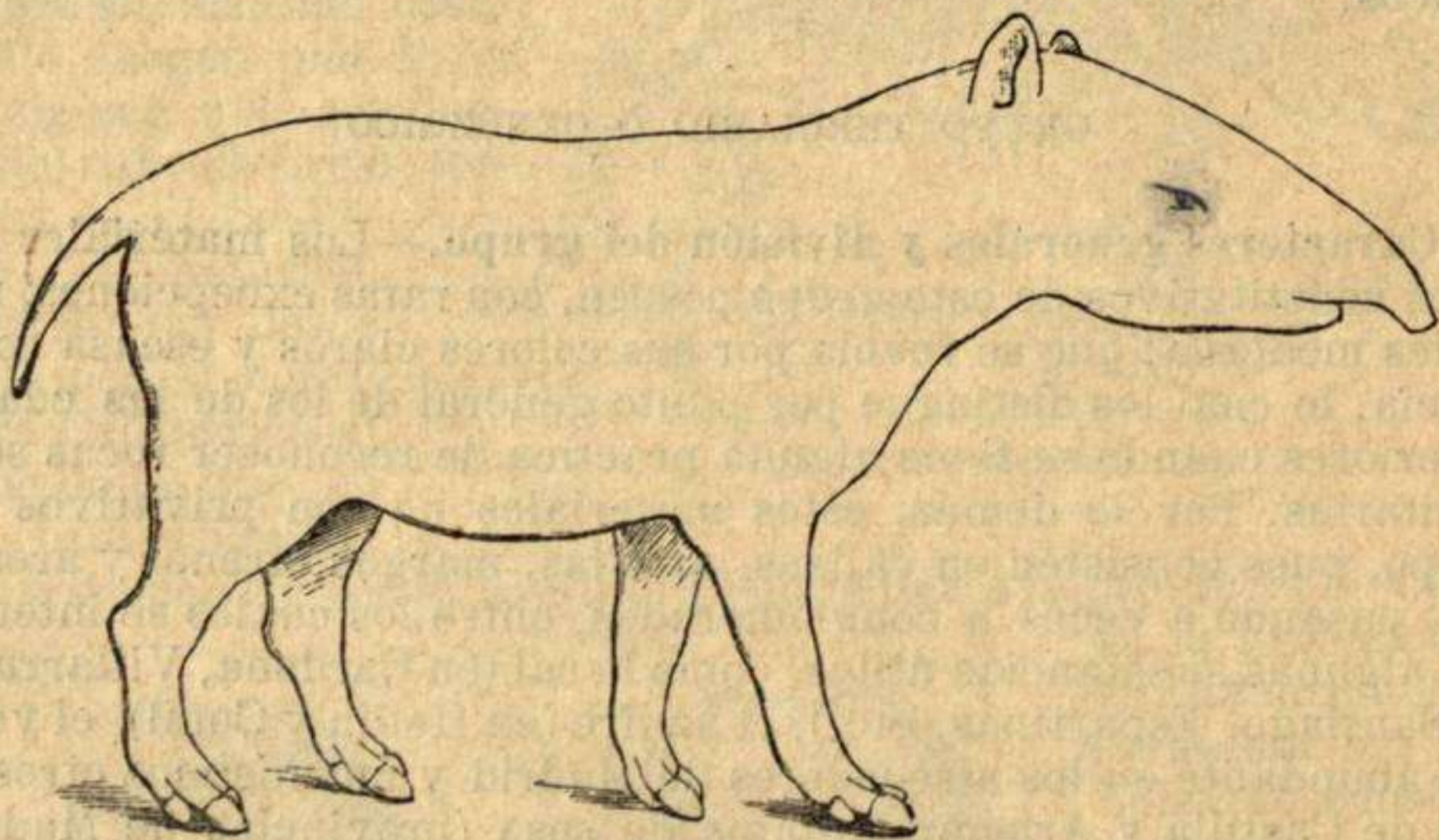


Fig. 176.—*Palæotherium magnum* (restaurado por Cuvier).

llaba una flora de clima cálido, con cactáceas, palmeras y pandanus. Vivían en los mares muchos tiburones y en los continentes cocodrilos, tortugas y mamíferos carnívoros y herbívoros, además del primer cuadrúmano aparecido en el globo. Entre estos seres hay muchos tipos colectivos, es decir, que resumen en sí caracteres que pertenecen a grupos diferentes actuales. Tal es el caso del

Palæotherium (fig. 176), muy semejante al tapir por la forma de su cabeza y su pequeña trompa, pero con tres dedos en todas sus patas y sus dientes posteriores enteramente conformados como los de

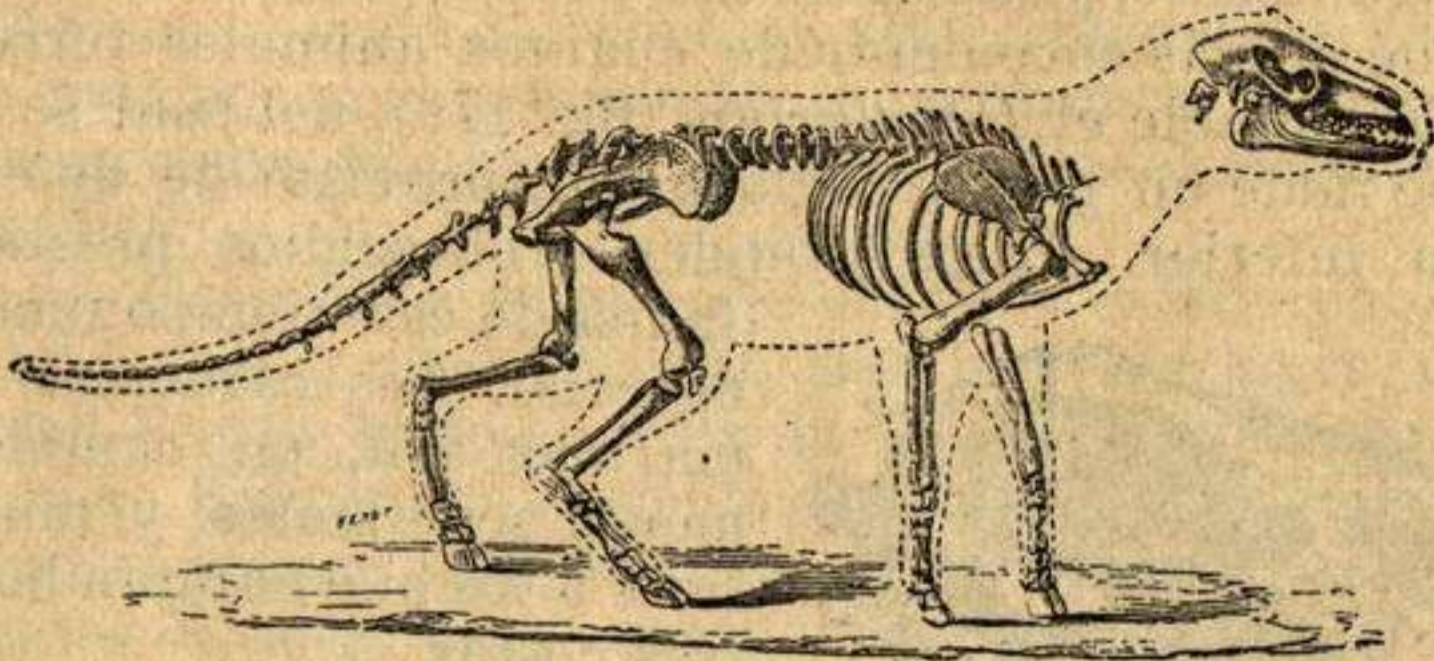


Fig. 177.—*Anoplotherium* (restaurado por Cuvier)."

los rinocerontes, y el del *Anoplotherium* (fig. 177), que presenta reunidos ciertos caracteres de los suidos, los paquidermos y los ruminantes (1).

Sistema miocénico.—Durante este tiempo sufrió grandes cambios el contorno de los continentes. La flora, al principio de clima

ardiente, se hace menos tropical al terminar, siendo reemplazadas las palmeras por álamos, robles y olmos. En los mares habitaban enormes tiburones, variados equinodermos y moluscos. Colosales proboscidos ocupan un lugar importante en la fauna miocénica continental, entre ellos el *mastodonte* (fig. 178), muy

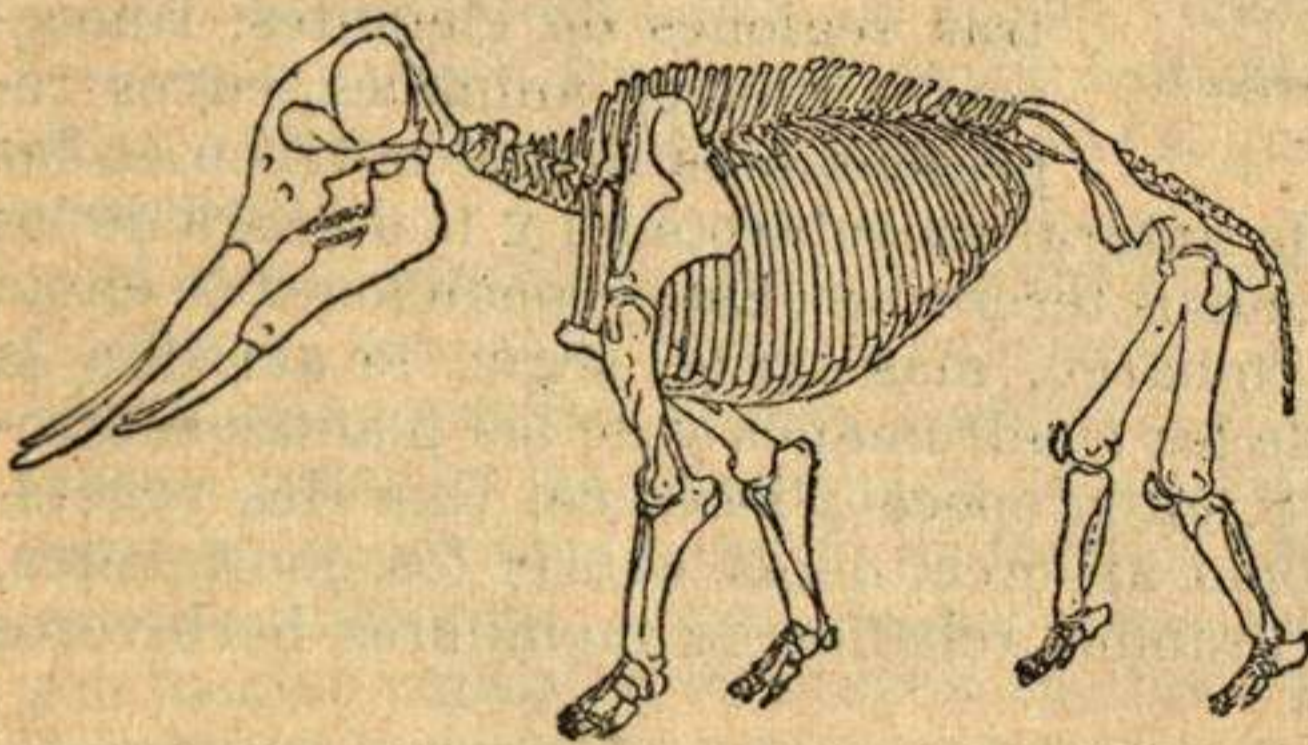


Fig. 178.—Mastodonte.

afín al elefante, pero provisto de cuatro defensas o colmillos, y muchos géneros de mamíferos actuales hacen su aparición en este tiempo (antilope, gato, cerdo).

Sistema pliocénico.—Son pocas las formaciones continentales conocidas de esta edad, que forma depósitos de mucha menor im-

(1) Los restos incompletos, dispersos y mezclados de estos y otros mamíferos extinguidos fueron hallados en las formaciones yesosas de los alrededores de París, cuyo material reunido y clasificado por el trabajo paciente y genial de Cuvier, a principios del siglo XIX, le sirvió para restaurar aquellas organizaciones sin representantes vivos, realizando una de las obras más memorables que registra la historia de las ciencias naturales.

portancia que la anterior, pero bastan para saber que el clima era más templado que en las precedentes, pues se puebla Europa de árboles parecidos a los actuales; grandes manadas de rinocerontes, hipopótamos y elefantes recorrían los campos, así como rumiantes, algunos gigantescos, y caballos. Uno de los elefantes (el *Elephas meridionalis*) fué el más corpulento de cuantos animales terrestres han existido. Es notable el *Dinotherium* (fig. 179), del cual se conoce un cráneo que mide un metro de longitud, provisto de defensas en la mandíbula inferior. Estos grandes proboscidios prestaban a la

fauna de este tiempo una fisonomía especial. Los caracoles y conchas marinas son, en cambio, enteramente semejantes, y muchos idénticos a los que habitan hoy en nuestras costas.

Estado de la Tierra durante la era terciaria.—Los caracteres estratigráficos y paleontológicos de las formaciones de esta era ponen de manifiesto las siguientes circunstancias:

1.^a La naturaleza de la flora antes indicada y la existencia en nuestras regiones de elefantes, rinocerontes y otros animales, cuyos representantes actuales viven en las

zonas cálidas, prueban la naturaleza subtropical y la dulzura de los inviernos durante los tiempos terciarios. Estas condiciones de clima fueron cambiando, sin embargo, más tarde, según lo acredita la emigración de Europa de los cuadrúmanos y de las plantas subtropicales, dirigiéndose al S. en la época pliocénica. Una rica vegetación, tanto herbácea como arbórea, debía cubrir los continentes, sirviendo de pasto a los grandes rebaños de mamíferos herbívoros que los poblaban.

2.^a Abundantes lagos y dilatados pantanos revelan el régimen lluvioso que entonces imperaba.

3.^a Durante los tiempos terciarios se realizó la distribución de los mares y continentes en la forma que representan en la actualidad, alcanzando estos últimos la extensión que hoy ocupan.

4.^a Las fuerzas internas obraron enérgicamente, produciendo muchas y poderosas manifestaciones eruptivas y dando los agentes orogénicos gran relieve y proporciones colosales a las principales cadenas, como el Himalaya, los Andes, los Pirineos, los Apeninos y los Alpes.

Distribución.—Los depósitos terciarios cubren grandes superficies en Europa, Asia y América, alcanzando espesores de muchos miles de pies y corriendo a lo largo de las grandes cadenas.

Por lo que se refiere a nuestra Península, los hay marinos en

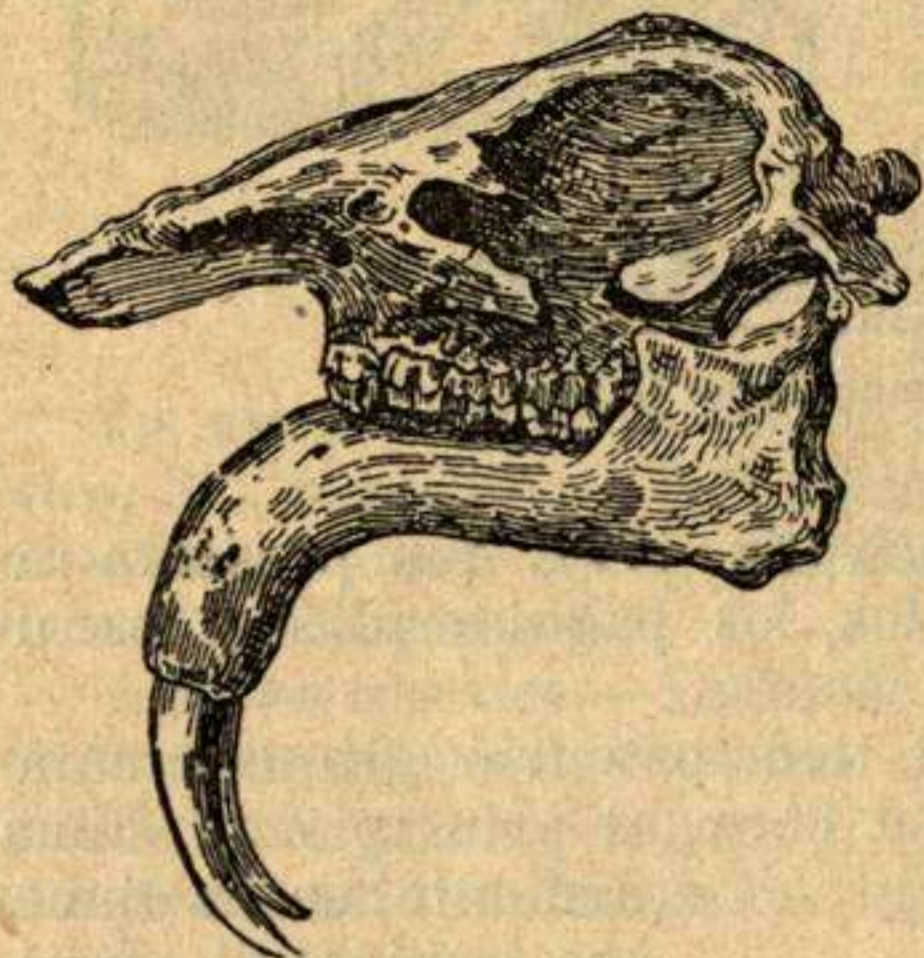


Fig. 179.—Cráneo de *Dinotherium*.

ciertas regiones costeras y lacustres en el interior, ocupando vasta extensión. Al S. de los Pirineos predominan los eocénicos marinos constituidos por calizas plagadas de *Nummulites*; así como los miocénicos y pliocénicos corren por la costa mediterránea a la provincia de Cádiz por el valle del Guadalquivir, dejando aislados al N. los viejos macizos montañosos de la cordillera Penibética. Esta zona ponía en comunicación el mar miocénico del Mediterráneo con el del Atlántico.

En las dos Castillas y en el valle del Ebro existieron, durante la mayoría de los tiempos terciarios, tres grandes lagos, dos de los cuales, el del Ebro y el de Castilla la Vieja, comunicaban entre sí por la parte de Burgos. En el fondo de éstos se depositaron primero conglomerados y areniscas, después arcillas yesíferas, ricas en sal común y sales de sosa, cuyas arcillas engloban huesos de mamíferos, y encima calizas en capas plagadas de caracoles de agua dulce, como sucede en la de Colmenar. Restos de mastodonte se han hallado en estas formaciones de los alrededores de Madrid, y éstos y otros mamíferos miocénicos, en los notables yacimientos de Concud (Teruel) y Alcoy.

GRUPO POSTERCIARIO O CUATERNARIO Y MODERNO

La época posterciaria, de cuyas vicisitudes fué testigo el hombre, es de pocos trastornos orogénicos; pero, en cambio, ofrece de singular grandes trastornos en el clima, que parecen hasta ahora sin precedentes.

Los materiales de esta era, como depositados por los ríos y los glaciares, son, con raras excepciones, incoherentes, detríticos, y consisten en gravas, arenas y arcillas; a igual edad pertenecen las tobas calizas y las formaciones estalactíticas de las cavernas, así como los depósitos de turba; materiales todos de carácter esencialmente continental. Los depósitos cuaternarios y modernos de origen marino consisten en arenas sueltas costeras que se hallan en las playas levantadas a niveles superiores a los de las actuales (página 65), y encierran caracoles, conchas y erizos de mar y otros restos no petrificados, pertenecientes a especies vivas todas ellas en los mares próximos. Los fenómenos eruptivos, que se recrudecieron en los tiempos terciarios, aun continúan actuando en los que ahora nos ocupan y produciendo las lavas y demás rocas *volcánicas*.

El carácter paleontológico más saliente de esta última época es la existencia indudable en ella del hombre, comprobada por el hallazgo de sus restos, y con más frecuencia los de su primitiva industria, acompañados de huesos y dientes de otros mamíferos, de los cuales unos pertenecen a las especies que actualmente viven en nuestras regiones, y otros a seres extinguidos o emigrados de ellas. El grupo comprende dos períodos: el cuaternario y el moderno o actual.

Cuaternario.—Hemos visto que la fauna o flora de la parte más moderna de los tiempos pliocénicos revelan un notable descenso de temperatura, que va exagerándose sucesivamente y adquiriendo su máximo al comienzo de la posterciaria; durante ella, los gla-

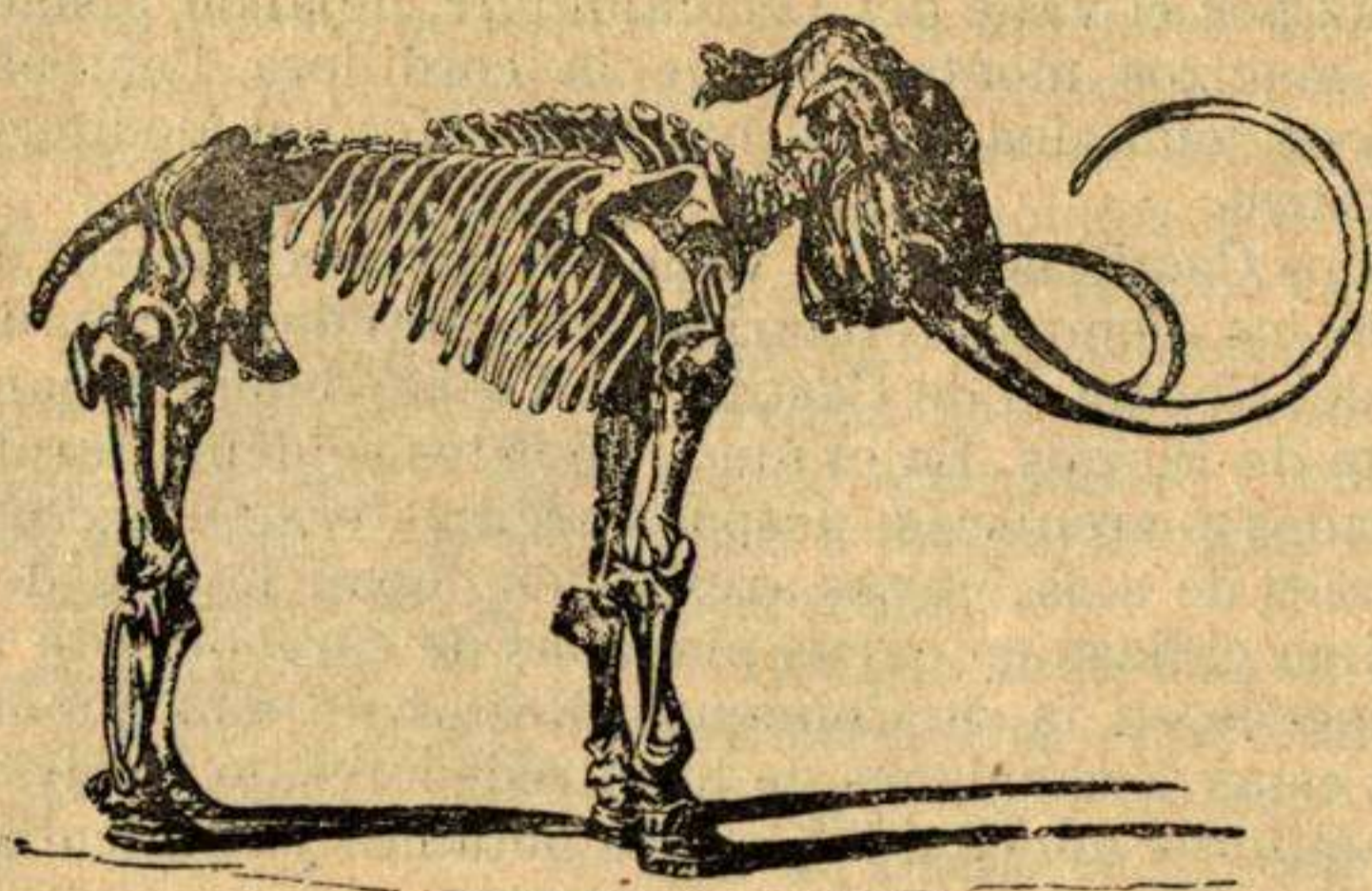


Fig. 180.—Mamut.

ciates polares se extienden hasta la Europa central, así como los de las montañas del Mediodía bajan a los niveles inferiores, donde terminan en poderosas corrientes de agua que depositan gruesos acarreos de cantos, arenas y arcillas. Testigos de la amplitud extraordinaria del antiguo glaciario del centro de Europa son las piedras erráticas de que hemos hablado (pág. 48), como la

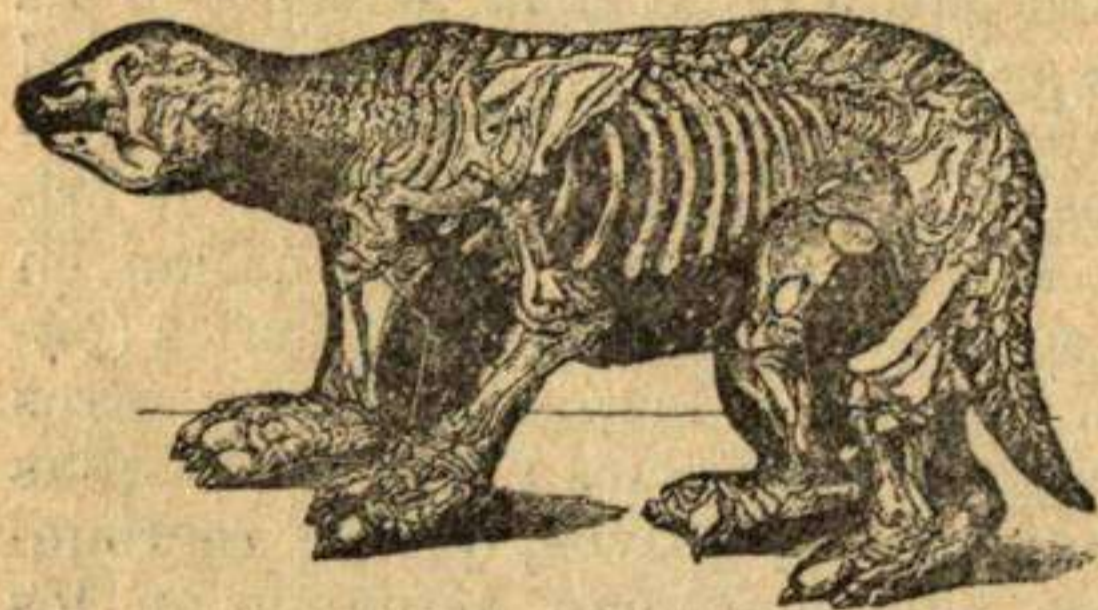


Fig. 181.—Megaterio.

representada en la figura 12, que es una mole de granito del Mont-Blanc transportada por los hielos cuaternarios hasta las cercanías de Neufchatel. Iguales fenómenos se observan en las montañas del Asia y en la América del Norte, indicando que todo el planeta experimentó un enfriamiento considerable. Este primer período lleva el nombre de *cuaternario*, *glaciar* o *diluvial* y el de *diluvium* el terreno formado por los depósitos arenáceo-arcillosos originados por los referidos fenómenos.

Fauna.—La fauna y flora de los tiempos cuaternarios se caracteriza por especies emigradas o extinguidas. Así, concretándonos a la fauna, al lado de los restos de la industria humana, se hallan en Europa los de diversos elefantes, como el *mamut* (fig. 180), y

rinocerontes, algunos cubiertos de abundante pelo que los abrigaba; especies que han desaparecido, habiendo emigrado las que de ellas derivaron a las regiones cálidas, en busca de temperatura más suave y vegetación más abundante; otras, al contrario, como el reno y la marmota, por ejemplo, se han refugiado en las polares y alpinas. En la América meridional vivieron durante esta era gran cantidad de mamíferos colosales y sumamente curiosos por su organización, según demuestran los abundantes hallazgos de osamentas enterradas en el dilúvium de las Pampas, de donde procede el corpulento *Megaterio* (fig. 181) de 4 m. de longitud por 3 de altura, que figura en el Museo Nacional de Ciencias Naturales, y el *Glyptodon* (fig. 182), que era un tatuejo colosal.

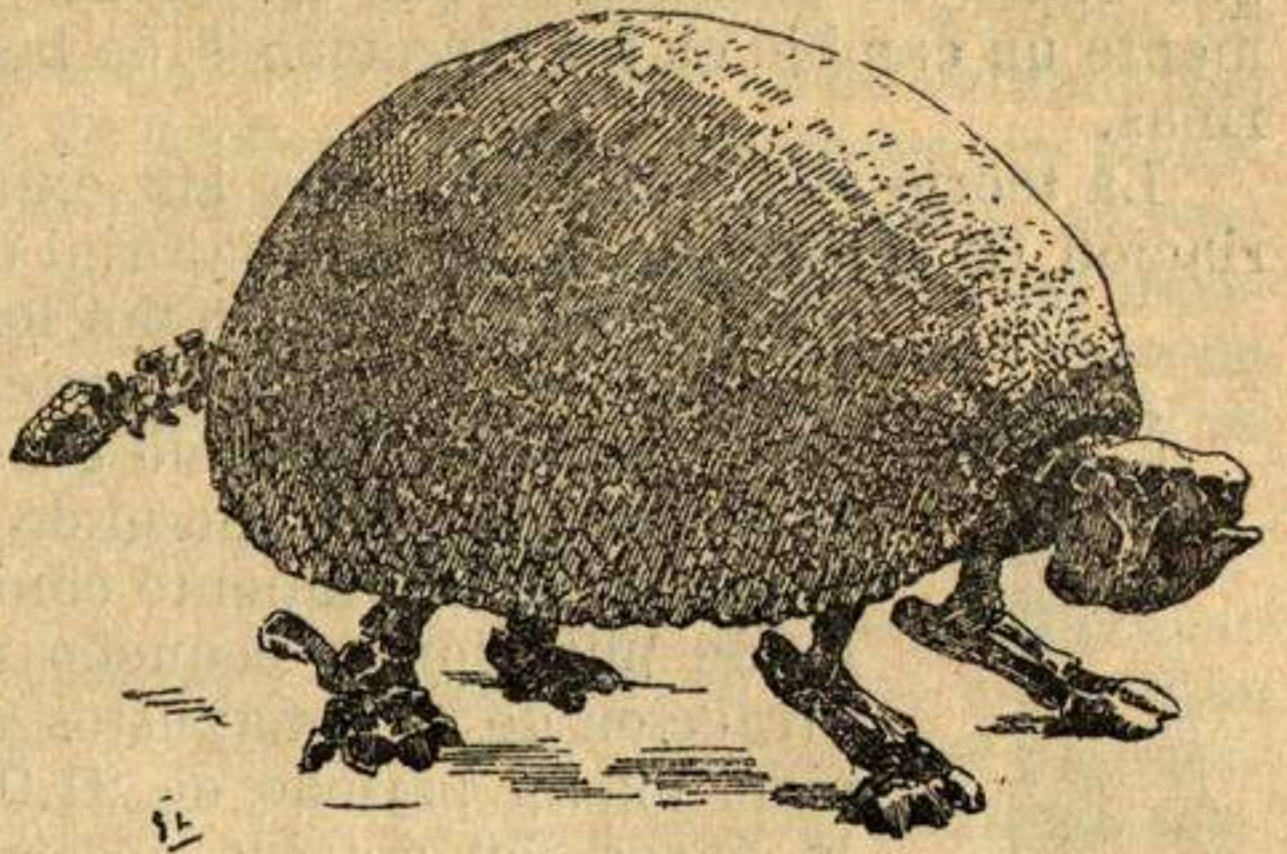


Fig. 182.—*Glyptodon clavipes*.

Las pruebas de la existencia del hombre durante el período cuaternario consisten, más que en restos de su esqueleto, que son muy escasos, en instrumentos de piedra tallados a golpes o por presión, y de aquí el nombre de edad de la *piedra tallada* o *antigua* (*período paleolítico*) con que se designa esta primera fase de la protohistoria humana.

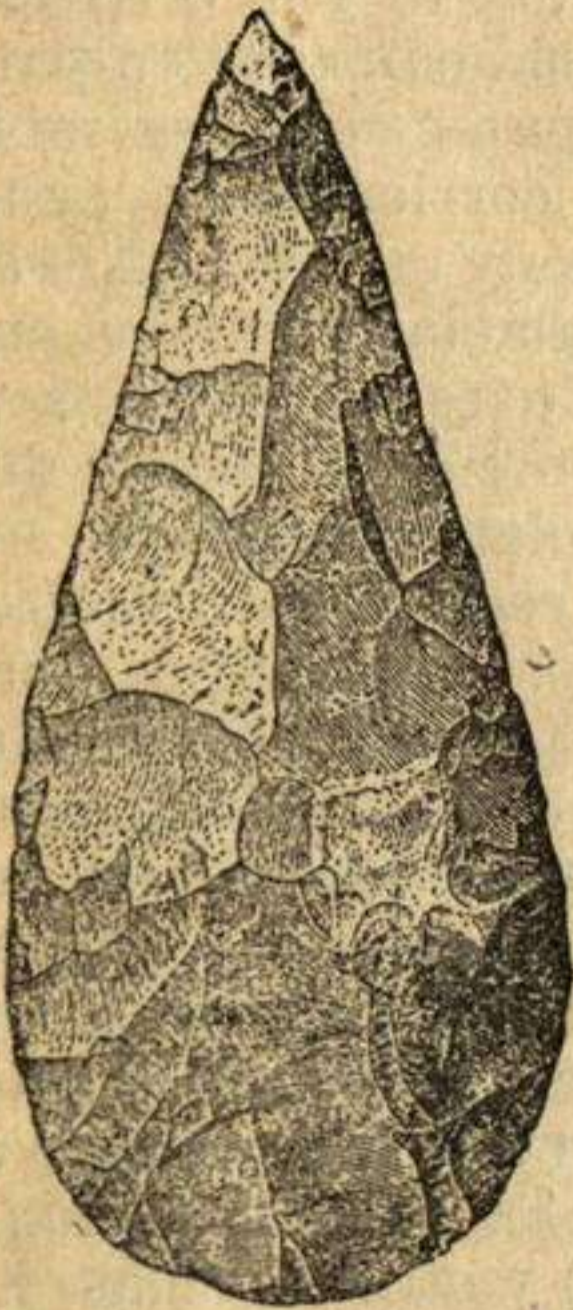


Fig. 183.—Instrumento paleolítico de sílex, procedente de San Isidro (Madrid).

Causas del frío cuaternario.—Gran incertidumbre reina acerca de las causas que han podido motivar la preponderancia del elemento acuoso, demostrada tanto por la enorme extensión de los glaciares como por las numerosas y grandes masas de agua líquida que caracterizaron el período cuaternario. Para unos geólogos estos, dos fenómenos concomitantes son el resultado de las copiosas precipitaciones atmosféricas acaecidas desde el momento en que la superficie de la Tierra estaba regida ya exclusivamente por la influencia solar y no por la temperatura del interior del globo, merced al engrosamiento de la corteza; al mismo tiempo, alcanzando las principales cordilleras en aquel período su máxima altura, parte de la que han ido perdiendo lentamente por denuda-

tura, parte de la que han ido perdiendo lentamente por denuda-

ción, obrarían como grandes condensadores. Las precipitaciones podrían deber su origen a un deslizamiento de la zona de calmas que rodea el ecuador, lo que había de llevar consigo necesariamente un cambio en las direcciones de las corrientes aéreas y marinas.

La teoría ahora expuesta deja sin explicar la causa de la variación en latitud de la zona ecuatorial de las calmas, por lo cual otros geólogos interpretan los fenómenos cuaternarios acudiendo a causas cósmicas y especialmente a la combinación del cambio gradual de excentricidad de la órbita terrestre con el de precesión de los equinoccios o doble movimiento cónico del eje del planeta y el de nutación o pequeño movimiento, debido a la atracción de la Luna; estos dos últimos completan su ciclo en un período de 21.000 años. Lo cierto es que la causa del notable descenso de temperatura en la época cuaternaria, a pesar de remontarse a los tiempos geológicos más inmediatos a nosotros, constituye uno de los problemas más oscuros de la historia del globo.



Fig. 184. — Raspador de sílex de la cueva de Altamira.

Cuaternario español.—El *diluvium* ocupa en España tres regiones principales: una al S. de la cordillera Cantábrica, que comprende la porción N. de las provincias de Burgos, Palencia y León, y las otras, al N. y al S. de las Sierras de Gredos y Guadarrama, estando Madrid edificado en parte sobre él.

En la producción de este dilúvium parece que han tenido tanta parte los hielos como las grandes corrientes de agua líquida que bajan de dichas cordilleras. En ellas y en Sierra Nevada han sido halladas huellas de los antiguos glaciares que las cubrían. Respecto a los fósiles característicos de este período, son interesantes los restos de elefante y rinoceronte de la cuenca del Guadalquivir, y muy especialmente los que suelen encontrarse en los desmontes de los tejares de San Isidro, por estar éstos acompañados de instrumentos de pedernal trabajados por el hombre y pertenecientes al período prehistórico más antiguo (fig. 183), los huesos de rinocerontes convertidos en mineral de zinc (hidrozincita) hallados en Udias (Santander) y los instrumentos de piedra y hueso fabricados por el hombre, mezclados con huesos de ciervo, caballo, etcétera, restos cerámicos groseros de vasijas hechas a mano y secadas al sol, conchas del último período de la edad paleolítica acumuladas a la entrada de muchas cuevas que sirvieron de refugio a nuestros antepasados, como la de Altamira en Santillana del Mar (Santander) (fig. 184), la de Serinya (Gerona) y otras muchas. El hombre vivía de un modo mísero en aquel clima inclemente y acosado por terribles fieras.

Moderno.—Andando los tiempos cuaternarios, los glaciares se van retirando poco a poco después de haber imperado en Europa y en la América del Norte por un larguísimo espacio de tiempo,

las corrientes de agua líquida disminuyen de volumen y los fenómenos meteorológicos y climatológicos entran en las condiciones actuales, sucediendo al período glacial o cuaternario el *moderno*, en el cual vivimos. Durante él, las cavernas se cubren de estalactitas y estalagmitas; las aguas de diversas fuentes, cargadas de bicarbonato cálcico, depositan la toba caliza, rica, en ocasiones, en restos de vegetales y animales, y en los lagos, marismas y altas montañas se forma la turba; fenómenos todos que revelan una fase de gran tranquilidad, tan sólo interrumpida localmente por manifestaciones volcánicas.

Los materiales que constituyen el período moderno se han acumulado en los actuales mares, tierras, lagos y glaciares y en las presentes condiciones climatológicas, dejando en ellos sus restos las mismas faunas y floras que hoy cubren la superficie del planeta. Los depósitos que los ríos amontonan en sus crecidas, o sea los aluviones, así como los estalactíticos y el barro del suelo de las cavernas, los turbales y las playas levantadas sobre las costas, contienen restos de los animales y plantas actuales, no petrificados en la mayoría de los casos.

En armonía con el cambio que el clima experimentó, la fauna se renovó por completo al llegar el período moderno: el reno cuaternario fué reemplazado por el ciervo común; el corzo, habitante de los climas templados, sustituyó al rebeco, que se refugiaba en los Alpes y Pirineos, y abundaron los toros, caballos, jabalíes, el castor y el oso, propios de la fauna actual.

Con los restos de dichos animales se han descubierto en muchísimos parajes objetos de la industria del hombre y alguna vez sus huesos; aquéllos ofrecen un notable adelanto comparados con los cuaternarios, pues la mayor parte de los útiles de piedra de este último período están pulimentados; de ahí el designarle con el nombre de época de la *piedra pulimentada* o *nueva* (*período neolítico*) (fig. 185). Evidentemente, el hombre que fabricaba los instrumentos cuaternarios tuvo que ceder el campo a otros de raza más civilizada. De estos instrumentos se han hallado depósitos en diversos puntos de Europa y América, y en nuestra Península pueden citarse como ejemplos la Cueva Lóbrega, en Sierra Cebollera; las de Gibraltar, la de La Mujer, en Alhama de Granada; los túmulos de Carmona, los depósitos de Argecilla (Guadalajara) y otras muchas localidades españolas, así como Cabeço Arruda, Cascaes, Casa de Moura, etc., en Portugal.

Más tarde, las corrientes de emigración desde Asia traen otros



Fig. 185.—Hacha de piedra pulimentada.

pueblos que sabían utilizar los metales (el bronce primero y después el hierro), y comienza entonces el periodo histórico.

La variedad de las faunas y las floras actuales, así como la de las rocas y minerales que ostenta hoy el globo, es la consecuencia de todos los fenómenos que se han realizado durante las épocas pasadas, siendo ahora el hombre un factor importante en las modificaciones que experimenta la superficie del planeta que le sirve de morada después de haber dominado, tras gigantesca labor, las fuerzas naturales.

BREVE HISTORIA

DE LA

ESTRUCTURA GEOLÓGICA

DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

La Península Ibérica constituye un promontorio de 600 m. de altitud media sobre el nivel del mar y de contorno pentagonal, que se extiende desde las costas del mar Cantábrico hasta el estrecho de Gibraltar. Todo este macizo se inclina en suave pendiente y con dirección occidental al Atlántico, donde desembocan casi todos los grandes ríos que le recorren (el Miño, el Duero, el Tajo, el Guadiana y el Guadalquivir), en tanto que al E. se halla cortado bruscamente por una cresta cercana ya al Mediterráneo, y sólo el Ebro, entre los ríos importantes, vierte en él merced a la disposición de los Pirineos y a la de la gran depresión aragonesa. Además de esta pendiente atlántica, la Península ofrece una segunda menos pronunciada, de superficie desigual, desde la base de los Pirineos cantábricos hasta el valle del Guadalquivir.

Nueve cordilleras comprendidas en tres grupos forman el sistema hespérico de los geógrafos: 1.º, el septentrional, que comprende las cordilleras Cantábricas, Astúrica y Galaica, siendo variada su constitución geognóstica; 2.º, el central (Serranía de Cuenca, cadenas de Aragón y Carpetovetónica), está esencialmente constituido por granitos y gneises; 3.º, el meridional (Montes de Toledo, Sierra Morena y Penibética), lo forman predominantemente rocas paleozoicas.

Como elementos primordiales de la orografía ibérica, admite tres principales el Sr. Macpherson: uno al NE., los Pirineos; otro central, la gran meseta, y otro meridional, la cordillera Bética.

Los Pirineos, cadena Cántabropirenaica, tiene una extensión de 840 Km., componiendo un macizo perfectamente regular, sólo cortado por una depresión considerable en el mismo ángulo del golfo de Gascuña.

La elevada zona central de las mesetas castellanas forma un gran segmento, aproximadamente circular, que, yendo del Ebro al Guadalquivir, ocupa casi la mitad de la superficie del país, eleva-

do a unos 660 m. de altura media sobre el nivel del mar. Constituye, en realidad, dos mesetas, de altura diferente, separadas por un escalón: la del N., por la cual corren las aguas del Duero, y la del S., que constituye las cuencas gemelas del Tajo y del Guadiana. La cordillera Carpetovetónica forma la cresta de separación de las dos mesetas castellanas.

El esqueleto o núcleo central de dichas mesetas se encuentra constituido por gneis y granito, y todo el centro cubierto por un manto de formaciones lacustres de edad terciaria y por depósitos diluviales. Su suelo, generalmente, nivelado y arcilloso y la atmósfera seca, hacen de estas mesetas una región esteparia, semejante a las de la región aralocasiana.

Desde los bordes de las mesetas hasta los mares desciende a E. y O. una serie de escalones formados por terrenos paleozoicos, secundarios y terciarios, que se suceden en conjunto del interior hacia el mar en el orden indicado, es decir, que los más antiguos son los que están más céntricos.

El tercer elemento primordial, o sea la cordillera Bética, bordea al Mediterráneo, desde el cabo de Palos a Gibraltar. Está formada por varios macizos escalonados y dirigidos de SO. a NE., que son las sierras de Almería y Murcia, la mole gigantesca de Sierra Nevada, las de Tejea y Almijara y la gran masa de la Serranía de Ronda.

Al tratar de los grupos geológicos hemos descrito a grandes rasgos su distribución en la Península. Hemos visto que ésta se inició por los terrenos cristalinos y arcaicos, que debieron tener mayor extensión que la que ahora ocupan en la superficie; emergidos del mar por un movimiento de báscula, formarían un macizo alzado con las pendientes que actualmente ofrece.

Al final de la época paleozoica se produjeron en el centro de Europa grandes cordilleras, que se plegaron y rompieron hacia el N., sirviendo sus bordes de resistente apoyo, contra el cual se doblaron los sedimentos posteriores, dando nacimiento a las cordilleras Bética, Pirenaica, Alpina y de los Cárpatos.

En tiempos posteriores, las cordilleras primitivas fueron en parte destruidas y en parte reedificadas por las fuerzas orogénicas.

El citado Sr. Macpherson ha hecho notar que en todos los pliegues y accidentes estratigráficos que ofrecen las capas sedimentarias de nuestra Península domina una estructura monoclinal, es decir, que se inclinan a un solo lado, pero contrariamente en el N. y en el S. de la misma; en los Pirineos prepondera la que puede llamarse europea, por ser la general en este continente, en el cual todas las inclinaciones de los estratos tienden hacia el N.; pero a partir de una línea que va de Galicia a las Baleares se observa la disposición contraria, o sea, la africana, con arrumbamientos al Sur, que dominan ya en todo el Mediodía.

Los tres grandes macizos enunciados iniciaron en los primeros tiempos geológicos lo que había de ser más tarde la Península; de

ellos, el central es el más importante. Los espacios comprendidos entre estos macizos son zonas de depresión que siguen direcciones paralelas: una atraviesa desde el golfo de Gascuña hasta la desembocadura del Tajo, en Portugal; otra va por Cataluña, Aragón y Valencia, originando depresiones subalternas escalonadas, y el eje de otras dos, las del Duero y del Ebro, forman ángulo con la anterior. Sometidas las zonas de depresión al empuje constante de las fuerzas orogénicas entre macizos resistentes, se hubieron de arquear en forma de bóvedas que corren entre el Atlántico y el Mediterráneo, y hundiéndose ésta después, formaron las grandes fallas peninsulares, de las cuales son las principales la del Ebro y la del Guadalquivir, y en cuya dirección vienen siendo después empujadas y plegadas todas las capas.

En los mares que cercan la Península sigue el mismo sistema de depresiones coordinadas con el sistema de las dos grandes dislocaciones indicado, y respondiendo también a las dos direcciones fundamentales: una de S.O. a N.E. y otra casi de N.O. a S.E. A estas dislocaciones se debe la configuración del relieve ibérico y la forma de las costas de nuestro país.

BREVES INDICACIONES

ACERCA

DE LA RECOLECCIÓN Y PREPARACIÓN DE LOS EJEMPLARES GEOLOGICOS

MINERALES Y ROCAS

La investigación geológica comprende, de una parte, la observación de los fenómenos y la recolección de ejemplares en el campo, y de otra, la preparación de los segundos y el estudio de unos y otros en el laboratorio.

Excursiones.—Las expediciones geológicas tienen que ser generalmente largas, merced a la gran extensión que abarcan la mayoría de los fenómenos del suelo. Es, pues, primera condición indispensable al expedicionario acostumbrarse a andar mucho.

El geólogo necesita ir provisto en sus correrías de los siguientes utensilios e instrumentos: 1.º Dos martillos, uno mayor, para arrancar los ejemplares, y otro más pequeño, para regularizar su forma y tamaño; basta con que el primero pese 600 ó 700 gramos, siendo de maza o cubo por un lado y de corte vertical por el otro; el segundo, que deberá pesar mucho menos, puede ser circular o un pequeño macito rectangular.—2.º Dos cortafríos o cinceles cortantes de 12 a 15 cm., uno de pico y otro de corte, para desprender cristales y fósiles.—3.º Una brújula de bolsillo con clinómetro, para orientarse y determinar direcciones e inclinaciones.—4.º Etiquetas pequeñas engomadas para numerar los ejemplares en el momento de recogerlos, llevando igual numeración en un cuaderno, en el que se anotarán todos los fenómenos que se vayan observando, las circunstancias del yacimiento y condiciones en que se han hallado las muestras.—5.º Papel para envolver los ejemplares en el momento de recogerlos, con objeto de que no se rocen unos contra otros, para lo cual conviene también separar los pesados de los delgados y frágiles.—6.º y último, el mapa mejor y de mayor escala que haya de la región que se visita, o calcos de él. Es muy útil llevar además un barómetro metálico de bolsillo, recién comprobado por comparación con uno normal de mercurio, y un termómetro de este último cuerpo, también corregido, especialmente la posición de su punto 0º; ambos instrumentos sirven para determinar las alturas sobre el ni-

vel del mar de los accidentes geológicos y lugares. También es conveniente un podómetro bien estudiado para conocer las distancias aproximadamente.

Para ensayos ligeros sobre el terreno, puede llevarse un frasquito con ácido clorhídrico diluído, o, lo que es menos peligroso, ácido cítrico en polvo, con el que, mediante el agua, se puede obtener una disolución cuando se quiera y en la cantidad necesaria.

Deben visitarse las canteras y minas, y en éstas los descargaderos de mineral, los acantilados de las costas, barrancos producidos por los arroyos, trincheras o cortes de las carreteras y vías férreas, fijando el orden de sucesión que guarden los materiales, no dejando de subir a los cerros y picos más altos o destacados de los macizos montañosos y examinar desde ellos el panorama, si es posible con antejo de campo, porque es como se adquiere el conocimiento del relieve del país. El examen de los cantos que arrastran los ríos y arroyos sirve para formarse idea de la composición pétrea de la cuenca de aquella corriente, datos que se anotarán en el cuaderno. Las cercas de las heredades de los pueblos hacen también el mismo servicio de un modo admirable: son verdaderos museos de los materiales de la localidad, como se ha dicho con razón por un geólogo muy práctico. Pero las cercas, como los cauces de agua, dan sólo indicaciones para explorar, y no conviene guardar ejemplares de ellos si no se conoce exactamente su procedencia. Tratándose de los minerales, las minas explotadas y especialmente los montones de las escombreras proporcionan muchos ejemplares raros. Las hendiduras, cavernas y grietas ofrecen las mejores cristalizaciones. En fin, los contactos de rocas de naturaleza diversa son lugares donde el metamorfismo ha creado múltiples especies.

En punto a las excursiones geológicas, importa ir siempre orientado por medio de la brújula y el mapa, de tal modo que en cualquier momento pueda marcarse en éste con seguridad el lugar en que se está, y hay que observar atentamente, sin distraerse, la naturaleza y disposición de las piedras y capas del camino y sus alrededores, para que no pase inadvertida cualquier variación que exista en uno u otro de aquellos caracteres; variación que, habiendo dejado de notarse, imposibilitará las más veces la inteligencia de fenómenos subsiguientes, etc. El aspecto orográfico de las rocas sirve para reconocer desde las alturas la extensión que ocupan.

Recolección.—Como ha dicho Geikie, no deben reunirse minerales y rocas sólo porque sean objetos agradables a la vista, sino por lo que indican respecto a su naturaleza, origen y yacimiento; en suma, como materiales de estudio. Se procurará que los ejemplares de los minerales y las rocas ofrezcan superficies recientes que no hayan sufrido la acción atmosférica, hechas con el martillo, o por lo menos conservar algunas que no estén alteradas. Tra-

tándose de los minerales, son de más estima los ejemplares cristalizados que los en masa y compactos, y en todos los casos, los que no han sido alterados por la intemperie. No deben, sin embargo, dejar de recogerse aquellos en los que la alteración de la superficie descubre cristales, fósiles o concreciones que no se perciben en la roca fresca. Conviene notar, además, la profundidad hasta la cual se extiende la descomposición, circunstancia muy variable según la naturaleza y estructura de las rocas, y también según condiciones de la localidad en que existen.

Todos los ejemplares, y particularmente los de las rocas, deben reducirse a la misma forma y tamaño, de $100 \times 76 \times 25$ milímetros, generalmente. Esta igualdad de dimensiones es muy conveniente para arreglarlos después en los estantes o gavetas en que se instale la colección. En el laboratorio se acaban de regularizar algunos ejemplares en que esto exige cuidado; se desprenden de las gangas los cristales frágiles y se pegan los que se hubieren roto al sacarlos.

Estudio.—Para el reconocimiento de los materiales recogidos en las excursiones, se necesitan, a veces, algunas manipulaciones de laboratorio previas.

Las rocas cristalinas, y en ocasiones las sedimentarias normales, deben examinarse al microscopio en secciones delgadas, así como los cristales, para reconocer sus caracteres ópticos y su estructura. Ya se ha dicho lo suficiente (págs. 97 (nota) y 175) respecto al modo de preparar y examinar estas láminas transparentes, y sólo añadiremos algunas observaciones de carácter práctico por lo que a este asunto se refiere. Tratándose de substancias compactas y duras, el desgaste con polvo de esmeril, humedecido del modo indicado, constituye el procedimiento general; pero si hay que estudiar rocas incoherentes o térreas, se hierve previamente el trozo que se haya de preparar en el bálsamo del Canadá o se incorpora a este producto hasta hacer una pasta resistente, que luego se puede tallar como si fuera una piedra dura. Si la substancia que se quiere adelgazar para su examen microscópico fuese soluble en agua, es preciso hacer el desgaste en seco o con alcohol o bencina, y si es una materia blanda, se prescinde del esmeril, frotándola exclusivamente sobre un vidrio deslustrado. El espesor de las secciones de rocas ha de ser tan tenue, que los feldespatos y el cuarzo no muestren colores brillantes en el microscopio polarizante cuando estén los nicols cruzados, sino el gris o blanco cuando más, con objeto de que se puedan estudiar con grandes aumentos las inclusiones y el magma. Para montar definitivamente toda clase de secciones de materia mineral una vez preparadas, debe preferirse la disolución de la resina del bálsamo en buena bencina, como lo es la que proporcionan los almacenistas de productos para fotografías.

El mineralogista y el geólogo necesitan tanto como el zoólogo y el botánico del microscopio, siendo, además, preciso para los pri-

meros que este instrumento se halle provisto de platina giratoria y de un aparato completo de polarización, o sean dos prismas de Nicol, uno inferior, polarizador, y otro superior, analizador. La figura 186 representa uno de los mejores modelos. Por lo demás, no

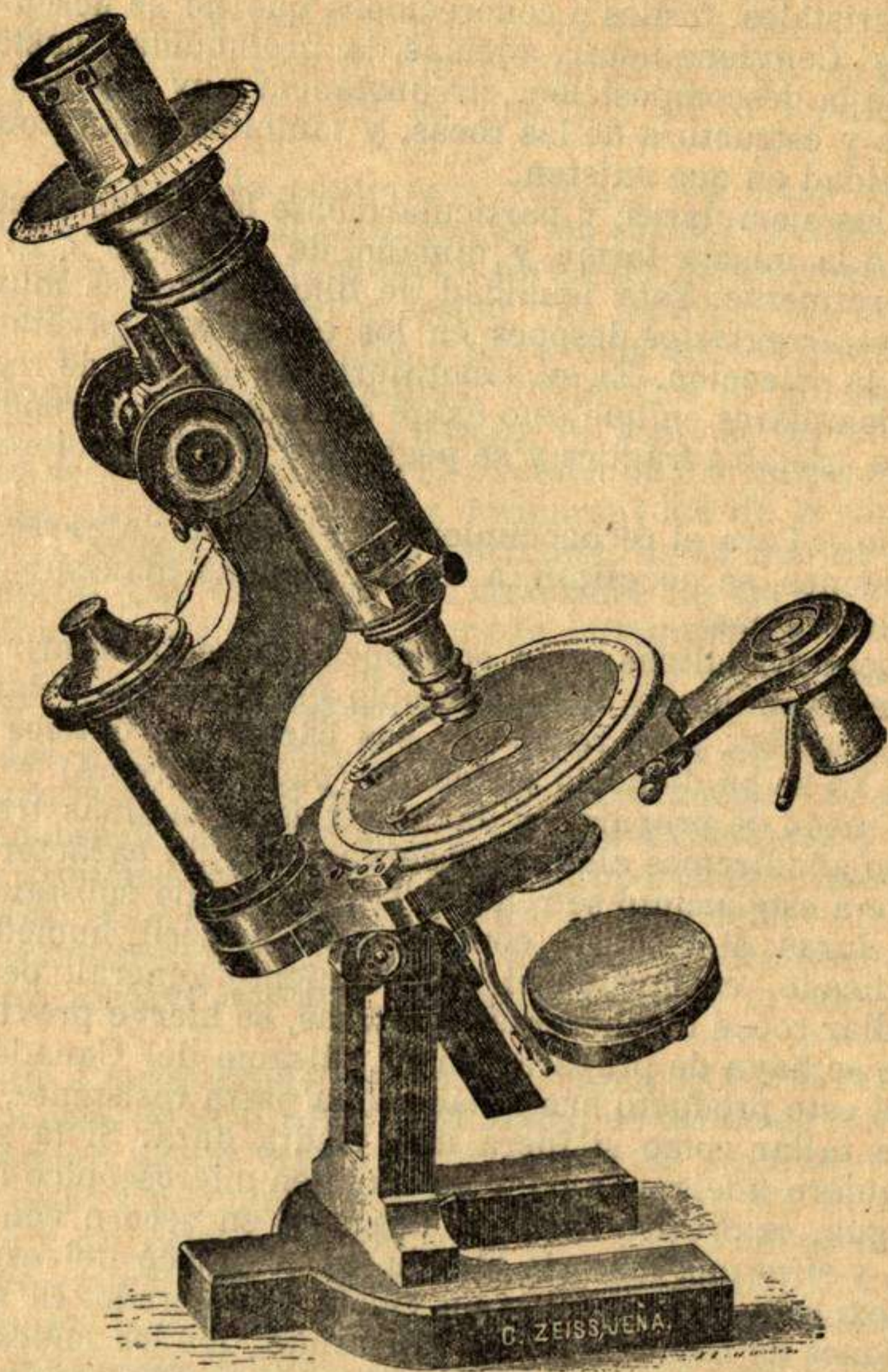


Fig. 186.—Microscopio petrográfico.

es indispensable que el microscopio destinado a estas investigaciones sea grande ni costoso, y bastan, para la mayoría de los casos, tres objetivos de 2, 1 y $\frac{1}{4}$ de pulgada de distancia focal.

También se obtienen muchos datos referentes a la composición de una roca reduciéndola a polvo y separando en éste los elementos de distintos gruesos por medio de tamices para someterlos a ensayos o examinarlos al microscopio.

La separación puede hacerse de un modo imperfecto por el simple lavado; pero se logra de una manera más completa sirviéndose del imán para aislar las partículas magnéticas y del electroimán para los minerales no magnéticos, pero sí ferruginosos, los cuales se van poniendo en papeles separados. Así se consigue, por ejemplo, aislar en pocos momentos toda la mica ferromagnésiana contenida en el polvo de un granito.

Tratándose de aislar los minerales componentes de una roca cuyo peso específico no ofrece diferencias notables, hay que triturar ésta y sumergir el polvo en un líquido de densidad conocida y muy pesado (pág. 91); en éste se van separando gradualmente, mediante diluciones sucesivas, los de diferente densidad. Llegando ésta a 2,6, la ortosa seguirá flotando, mientras que se irá al fondo el cuarzo.

El ácido fluorhídrico constituye otro agente sumamente útil de separación de los elementos de las rocas reducidas a polvo. Se coloca éste en una cápsula de platino con ácido concentrado, y la jalea de sílice y alúmina que resulta del tratamiento se separa, por el lavado con agua, de los minerales cristalinos, que quedan en el fondo. Deteniendo la acción en momentos diferentes, se aíslan los silicatos distintos que contiene la roca.

Cortes geológicos.—Marcando sobre el mapa de la región que se recorra los sitios de que procedan los ejemplares recogidos y la extensión en que se encuentren, se podrá trazar el plano geológico de la parte explorada. Pero estos mapas no sirven más que para dar idea de la distribución superficial de las rocas y formaciones, y no de las relaciones de superposición, contactos y disposición estratigráfica de las mismas. Para esto hay que representar en secciones verticales, hechas en escala mayor que la de los planos geográficos usuales, la disposición del terreno tal como aparecería si se cortara por medio de una gran trinchera. Tales son los cortes geológicos, los cuales siguen líneas que se indican en el mapa topográfico y deben ir en una dirección constante, fijando en ella puntos conocidos, cuyos nombres se consignan. Hay que conocer también, siquiera con aproximación, las alturas de las partes más prominentes y más profundas del relieve para trazar el perfil superior; el inferior es una línea que representa el nivel del mar, y, de no ser así, se indica la altitud a que sobre éste se encuentra dicha línea. Entre estos dos perfiles, que corresponden a las distancias verticales y horizontales, y pueden hacerse a escalas diferentes, se señalan ahora las rocas vistas en la excursión, representando su dirección, espesor, relaciones, pliegues, roturas, fallas, etc., y numerándolas, para poder distinguirlas e indicar en una leyenda otras particularidades, así como los fósiles u otros cuerpos que contengan. La figura 187, que representa una sección de las formaciones en que se asienta la región aurífera de la Sierra de Peñafior hasta el Guadalquivir, en la provincia de Sevilla, puede dar idea del modo de trazarse los cortes geológicos y su papel como medio explicativo gráfico.

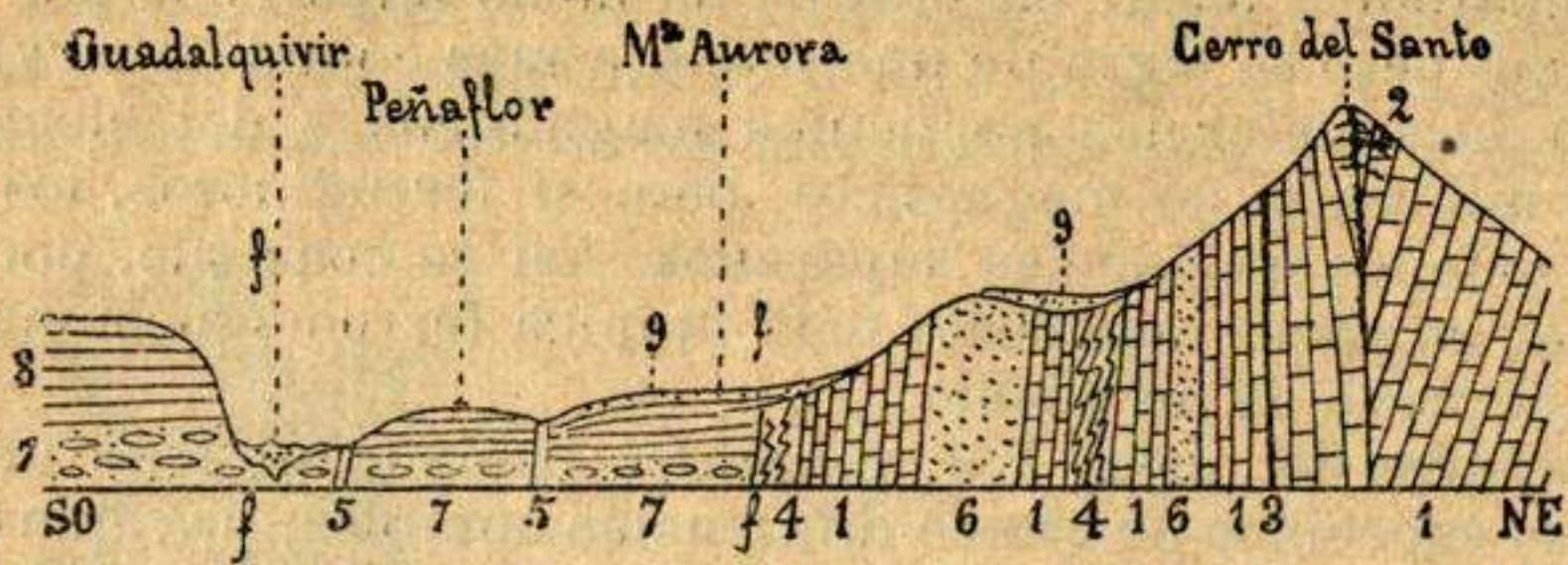


Fig. 187.

- | | | |
|--|---|-----------|
| 1.—Caliza cristalina (cipolino)..... | } | Arcaico. |
| 2.—Fosforita (filón ramificado)..... | | |
| 3.—Magnetita (filón recto)..... | | |
| 4.—Micacitas, pizarras y filoncillos de cuarzo..... | } | Miocénico |
| 5.—Anfibolitas..... | | |
| 6.—Diabasas y otras rocas cristalinas..... | | |
| 7.—Conglomerado con <i>Clypeaster</i> , <i>Ostræa</i> , etc..... | | |
| 8.—Molasa conchifera..... | | |
| 9.—Diluvium aurífero..... | | |
| ff.—Fallas..... | | |

Ya hemos explicado (pág. 180) la significación que tiene para el geólogo las concordancias y discordancias de las capas; pero es preciso no limitarse para su estudio a puntos aislados, lo que pudiera inducir a errores graves. Así, por ejemplo, en la figura adjunta, según se examine el contacto de las dos series en la parte baja o en la alta del pliegue de

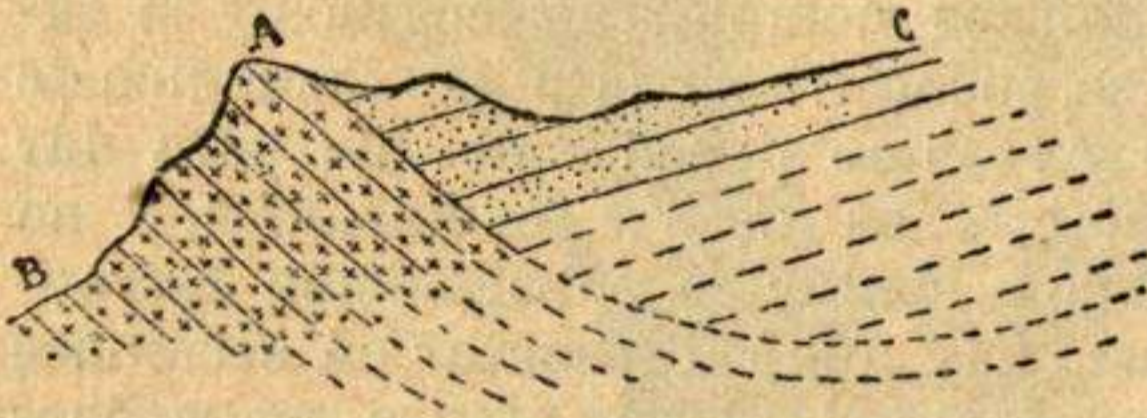


Fig. 188.—Carácter local de las discordancias de estratificación.

la AB, parecerá completamente distinta la discordancia, siendo preciso reconocer toda la sección para formar exacto juicio de aquélla.

FÓSILES

Busca.—En general, todas las rocas sedimentarias pueden contener restos fósiles, pero comúnmente las calizas y las arcillas son más ricas en ellos y los ofrecen mejor conservados que las areniscas y conglomerados. En algunas rocas de distinta naturaleza, pero sobre todo en las calizas desprovistas aparentemente de dichos restos orgánicos, la acción de la intemperie los descubre a veces, dejándolos en relieve, en las superficies expuestas a ella, por ser más resistentes que la ganga que los aprisiona.

No se pueden dar reglas precisas sobre la busca de los fósiles, por ser infinitamente variable la naturaleza, la estructura y estado de la roca en que se hallan, lo cual sólo la experiencia personal va enseñando en cada caso. Únicamente diremos, como con-

sejo general, que conviene concentrar la exploración allí donde se ve que hay señales de abundar los restos, y no malgastar el tiempo en las rocas poco fecundas en ellos. Naturalmente, deben preferirse los mejor conservados y los más característicos, como son, tratándose de los vertebrados, la calavera y los dientes, las conchas petrificadas mejor que sus moldes, etc.

Se cuidará de pegar a cada ejemplar una etiqueta con su número correspondiente a otro del cuaderno en que se precise la capa en que yacía el fósil, y si está roto, envolver cada pedazo en un papel y todos ponerlos en una cajita o de modo que no se rompan ni desgasten las superficies de fractura para pegarlos después con sindeticón.

Extracción.—Los ejemplares voluminosos suelen ser fáciles de sacar y limpiar de la ganga, bastando a veces golpear esta segunda con el martillo sobre un plano resistente para dejar libres los fósiles enteros. Otros, y sobre todo los de pequeño tamaño, que sólo se perciben, como hemos dicho, en las superficies expuestas a la intemperie, exigen guardar trozos de la piedra en que están engastados, si bien, a veces, partiéndola del modo indicado, se desprenden ejemplares utilizables.

Las arcillas y las calizas terrosas deben someterse a un tratamiento de levigación después de desecadas perfectamente al sol o a la estufa. De este modo se elimina la ganga pulverulenta y queda un residuo de foraminíferos, pequeños crustáceos, conchas, etc. Como muchos de los organismos más pequeños flotan en el líquido, hay que pasar el agua con que se levigan por una muselina o un cedazo fino.

Las pizarras deben explorarse con cuidado, porque suelen contener restos sumamente interesantes. Los mayores se desprenden fácilmente; pero los pequeños pasan inadvertidos y no es posible sacarlos no tomando ciertas precauciones. Pueden calentarse trozos de pizarra, y cuando están a temperatura elevada, echarlos en agua fría, con lo cual saltan en pedazos, repitiendo la operación hasta que los fragmentos no se cuarteen. Muchas pizarras se desintegran sometiéndolas a una cocción más o menos prolongada. En todo caso, antes y después del tratamiento se ensaya ir levantando sus hojas con un cuchillo de punta redonda, para dejar sueltos los restos que aprisionan. En ocasiones, la impresión del fósil en la roca conserva muchos más detalles que la superficie misma de éste, y entonces no sólo importa conservar esta impresión, sino cubrirla de una capita de goma o barniz claro para que no se roce ni desmorone.

Los huesos suelen hallarse demasiado alterados para intentar aislarlos y ni aun para conservarlos, y en este caso, es preciso endurecerlos previamente con una disolución de silicato de sosa. También las conchas de naturaleza caliza se encuentran a veces en un estado pulverulento merced a la descomposición que han experimentado. Se consigue prestarlas cierta consistencia tratándolas en

la misma ganga por agua hervida, saturada de sulfato de cal y acidulada débilmente con ácido sulfúrico, merced a cuyo agente se transforman en yeso bastante coherente para poder desprender enteras dichas conchas.

El estudio de algunos fósiles exige hacer secciones más o menos delgadas de la roca que los contine o de trozos del resto mismo, las cuales se preparan de igual modo que las de los minerales y rocas para su reconocimiento microscópico. Los de estructuras porosas hay necesidad de penetrarlos de bálsamo del Canadá resinificado para poder adelgazarlos. Tratándose de los carbones, que no pueden estudiarse satisfactoriamente a causa de su opacidad, hay que someter la sección por bastante tiempo, y sucesivamente, antes de montarla, a la acción de una mezcla de ácido nítrico y clorato potásico y después a la del alcohol absoluto.

BIBLIOGRAFÍA ⁽¹⁾

- BAUERMANN, H.—Text-book of systematic Mineralogy. London, 1881.
- IDEM.—Text-book of descriptive Mineralogy. London, 1884.
- CALDERÓN.—Los minerales de España, 1910. Publicado por la Junta para ampliación de estudios e investigaciones científicas.
- DANA, E. S.—A Text-book of Mineralogy. New York, 1895.
- FRITSCH, DR. K. v.—Allgemeine Geologie. Stuttgart, 1888.
- GEIKIE, A.—Text-book of Geology. 3.^a édit. London, 1893.—Geología. Trad., extract. y anot. con datos españoles por Calderón (t. XIII de la HISTORIA NATURAL, editada por los Sres. Montaner y Simón. Barcelona, 1895).
- GONÇALVES GUIMARAES, A. J.—Tratado elemental de Mineralogía. Parte general e atlas. Porto.
- LAPPARENT.—Traité de Geologie. 4^{ème} édit., Paris, 1902.
- IDEM.—Cours de Minéralogie. 2^{ème} édit., Paris, 1890. (De esta obra, como de la Geología del mismo autor, existen manuales en francés.)
- MALLADA.—Catálogo general de las especies fósiles encontradas en España. Madrid, 1892.
- IDEM.—Explicación del Mapa geológico de España. (Memorias de la Comisión del Mapa geológico.) Van publicados cinco tomos, de 1895 a 1907.
- MACPHERSON.—El carácter de las dislocaciones de la Península Ibérica. Madrid, 1888.
- MUÑOZ DE MADARIAGA.—Elementos de Mineralogía. Madrid, 1898.
- NARANJO Y GARZA, F.—Elementos de Mineralogía. Madrid, 1862.
- NAUMANN Y ZIRKEL.—Elementos de Mineralogía, traducidos de la duodécima edición alemana por D. Juan J. Muñoz de Madariaga. Madrid, 1891.
- TSCHERMAK, DR. G.—Mineralogía. Trad., extract. y anot. con da-

(1) En esta ligera reseña bibliográfica sólo se indican las obras que el principiante puede consultar con mayor provecho para hallar la confirmación de cuanto se ha expuesto en este libro y ampliar los conocimientos que hubiere adquirido con su estudio.

tos españoles por Quiroga (t. XII de la HISTORIA NATURAL, editada por los Sres. Montaner y Simón. Barcelona, 1904).

TSCHERMAK, DR. G. — Lehrbuch der Mineralogie. 2^o Auflage. Wien, 1885.

GROTH, P.—Tableau systématique des minéraux. Edic. franc. Genève, 1904.

TENNE UND CALDERÓN.—Die Mineralfundstätten der Iberischen Halbinsel. Berlin, 1902.

RIVAS MATEOS.—Compendio de Mineralogía aplicada. 2.^a edición. Madrid, 1906.

VILANOVA, J.—Compendio de Geología. Madrid, 1872.

ZITTEL.—Traité de Paléontologie. Trad. par Barrois. Paris-Munich, 1883-95.

Para el conocimiento de la gea de la Península, y en particular de las provincias y regiones de la misma, así como otras monografías, deben consultarse las publicaciones siguientes:

MEMORIAS DE LA JUNTA GENERAL DE ESTADÍSTICA, entre las que figuran las descripciones geológicas de la provincia de Madrid, por Prado; Asturias, por Schulz; Santander, por Maestre; Teruel, por Vilanova; Murcia y Albacete, por Botella, etc.

MEMORIAS Y BOLETÍN DE LA COMISIÓN DEL MAPA GEOLÓGICO EN ESPAÑA. Madrid, 1884, hasta hoy.

SECÇÃO DOS TRABALHOS GEOLOGICOS DE PORTUGAL. Lisboa, 1867, hasta la fecha.

Aparte de las obras citadas, y de algunas otras¹ menos generales, que por esto no enumeramos, es indispensable el examen de los ANALES, MEMORIAS Y BOLETÍN DE LA REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE HISTORIA NATURAL, que, en los 30 tomos de los primeros, 12 de las segundas y 20 del BOLETÍN, contienen inmenso caudal de datos y numerosas Memorias para el conocimiento de la Península Ibérica.

Son igualmente necesarios para el de nuestra Gea, Flora y Fauna los TRABAJOS DEL MUSEO NACIONAL DE CIENCIAS NATURALES en sus tres series: Geológica, Botánica y Zoológica, y los de la COMISIÓN PALEONTOLÓGICA Y PREHISTÓRICA, publicaciones todas debidas a la JUNTA PARA AMPLIACIÓN DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS.

ÍNDICE DE MATERIAS

PRÓLOGO, III

INTRODUCCION

- I. Asunto de la Historia natural, 1.
- II. División primordial de los seres naturales, 2.
- III. Breves nociones de Uranografía, 4.—La esfera celeste, 4.—El Sol, 5.—Los planetas, 8.—Cometas y estrellas fugaces, 10.—Bóridos y meteoritos, 11.—Unidad de composición del Universo, 12.
- IV. La Tierra como cuerpo astronómico, 13.—Forma y tamaño de la Tierra, 13.—Forma de la parte sólida del globo, 16.—Círculos y líneas de la esfera terrestre, 16.—Densidad, 17.—Movimiento de la Tierra, 17.—Mareas, 21.—Cambios seculares hipotéticos de forma y movimientos terrestres, 21.

GEOLOGIA

GENERALIDADES

ASUNTO Y DIVISIÓN DE ESTA CIENCIA, 25.

GEOLOGÍA FISIAGRÁFICA

ESTRUCTURA DEL GLOBO, 25.

Atmósfera, 26.—Mares, 26.—Corteza sólida, 27.—Endosfera, 28.

RELIEVES TERRESTRES, 28.

Continentes, 28.—Islas, 29.—Planicies, 29.—Montañas, 30.—Valles, 30.—Cuencas, 30.—Simetría de los relieves continentales, 31.

GEOLOGÍA DINÁMICA

GENERALIDADES

Agentes geológicos, 32.—El tiempo como factor geológico, 32.—La evolución terrestre, 33.—División de los agentes geológicos, 33.

AGENTES ATMOSFÉRICOS, 33.

Acción pasiva de la atmósfera, 33.—Acción mecánica, 34.—Acción térmica, 35.—Acción química de la atmósfera, 35.

AGENTES ÁCUEOS, 35.

Aguas corrientes, 36.—Denudación, 36.—*Aluviones*, 38.—*Estuarios, barras y deltas*, 39.—Acción química de las aguas superficiales, 39.—Acción mecánica del mar, 41.—*Corrientes marinas*, 41.—*Erosión de las costas*, 41.—Sedimentación, 42.—Aguas subterráneas, 43.—*Acción de las aguas subterráneas; cavernas*, 44.—Agua en estado sólido, 45.—Nieves, 46.—Glaciares, 46.

AGENTES BIOLÓGICOS, 50.

Acción destructora de los organismos, 50.—Acción edificadora de los organismos, 50.—*Vegetales terrestres*, 50.—*Desprendimiento de gases por descomposiciones orgánicas*, 51.—*Plantas acuáticas*, 52.—*Animales marinos*, 53.

AGENTES ERUPTIVOS, 55.

En general, 56.—Agentes termales, 56.—Volcanes, 57.—Fumarolas, 61.—Solfataras y aguas agrias, 61.—Calor interno del globo, 62.—Terremotos, 63.

AGENTES OROGÉNICOS, 64.

En general, 64.—Playas levantadas, 65.—Cordilleras, 66.—Teorías orogénicas, 67.—Acción contraria de los agentes externos e internos, 68.

GEOGNOSIA

Generalidades, 68.

MINERALOGÍA

PARTE GENERAL

Generalidades, 69.

Morfología mineral.

Formas cristalinas, 70.—Cristales: sus elementos, 70.—Constancia del valor del ángulo diedro, 70.—*Goniómetros*, 70.—Simetría, 72.—Formas simples y compuestas, 73.—Holoedría, hemiedría y hemimorfismo, 73.—Sistemas cristalinos, 73.—Sistema regular, 74.—Sistema exagonal, 76.—Sistema tetragonal, 77.—Sistema rómbico, 78.—Sistema monosimétrico, 79.—Sistema asimétrico, 81.—Maclas, 81.—Irregularidades de los cristales, 82.—Cristalización, 82.—Tamaño de los cristales, 83.

AGREGADOS CRISTALINOS, 83.

Configuraciones no geométricas, 83.—Formas imitativas, 84.—Pseudomorfismo, 84.—Estado amorfo, 85.

ESTRUCTURA MACRO Y MICROSCÓPICA, 85.

Estructura, 85.—Inclusiones, 86.

Física mineral.

I. Fractura, 87.—Exfoliación, 87.—Dureza, 88.—Elasticidad, 89.—Densidad, 89.

- II. Transparencia, 92.—Lustre, 92.—Imágenes luminosas, 93.
Refracción sencilla y doble, 93.—*Cristales uniaxiales*, 95.
Cristales biaxiales, 95.—Aparatos de polarización, 96.—
Policromismo, 98.—Color, 99.—Fosforescencia, 99.
- III. Conductibilidad térmica y dilatabilidad, 100.—Permeabilidad para el calor, 100.—Fusibilidad, 100.
- IV. Electricidad mineral, 101.—Magnetismo, 102.
- V. Olor, untuosidad y adherencia a los labios, 102.

Química mineral.

CONSTITUCIÓN QUÍMICA, 103.

Cuerpos simples y compuestos, 103.—El agua de los minerales, 104.—Relaciones entre la composición y la forma de los minerales, 105.

ENSAYOS QUÍMICOS DE LOS MINERALES, 106.

Análisis y ensayo, 106.—Ensayos por vía seca, 106.—*Soplete*, 107.—*Ensayos sobre el carbón*, 107.—*Perlas*, 108.—*Coloración de la llama*, 109.—*Ensayos en tubos abiertos y cerrados*, 109.—Ensayos por la vía húmeda, 109.—Ensayos microquímicos, 110.—Análisis cuantitativo, 111.

PARTE DESCRIPTIVA

CLASIFICACIÓN Y NOMENCLATURA, 112.

Especie, 111.—Grupos mineralógicos, 112.—Nomenclatura, 112.
Clasificación de los minerales, 112.

CLASE I.—Elementos, 113.

Diamante, 113.—Grafito, 115.—Azufre, 115.—Hierro, 116.—Cobre, 116.—Mercurio, 117.—Plata, 117.—Oro, 118.—Platino, 119.—Otros elementos, 119.

CLASE II.—Combinaciones del azufre, arsénico y antimonio con los demás cuerpos simples, 119.

Caracteres generales, 119.—Rejalgar, 120.—Oropimente, 120.
Antimonita, 120.—Blenda, 121.—Niquelita, 122.—Pirita, 122.
Cobaltita, 124.—Esmaltita, 124.—Galena, 125.—Argentina, 125.—Cinabrio, 126.—Calcopirita, 126.—Freieslebenita, 127.
Proustita, 127.—Pirargirita, 127.—Tetraedritas, 128.

CLASE III.—Oxidos, 128.

Agua, 128.—Cuarzo, 130.—Rutilo, 133.—Zircón, 133.—Casiterita, 133.—Pirolusita, 134.—Corindón, 134.—Hematites, 135.
Cuprita, 135.—Opalo, 136.—Limonita, 137.—Sasolita, 137.

CLASE IV.—Cloruros y fluoruros, 137.

Generalidades, 137.—Sal gema, 138.—Fluorita, 139.

CLASE V.—Nitratos y carbonatos, 139.

Nitro, 140.—Nitratina, 140.—Calcita, 141.—Dolomita, 143.—Esmithsonita, 143.—Siderita, 144.—Aragonito, 144.—Cerussita, 145.—Hidrozinca, 146.—Azurita, 146.—Malaquita, 146.

CLASE VI.—Sulfatos, 147.

Baritina, 147.—Celestina, 148.—Anglesita, 148.—Glauberita, 149.—Yeso, 149.—Epsomita, 150.—Alunita, 150.

CLASE VII.—Aluminatos y ferratos, 151.

Espinela, 151.—Magnetita, 151.

CLASE VIII.—Fosfatos, 152.

Apatito, 153.—Piromorfita, 154.—Calaita, 154.

CLASE IX.—Silicatos, 154.

Olivino, 155.—Talco, 156.—Sepiolita, 156.—Serpentina, 157.—Calamina, 157.—Silicatos de alúmina anhidros, 158.—Topacio, 158.—Turmalina, 159.—Granates, 159.—Piroxenos, 160.—Anfiboles, 161.—Feldespatos, 162.—Nefelina, 163.—Esmeralda, 163.—Zeolitas, 164.—Micas, 164.—Cloritas, 165.—Caolín, 165.—Arcillas, 166.

CLASE X.—Minerales de origen orgánico, 167.

Petróleo, 168.—Asfalto, 168.—Ambar, 169.—Lignito, 169.—Carbón de piedra, 170.—Antracita, 171.

LITOLOGÍA

Generalidades, 172.

Composición de las rocas, 172.—Química, 172.—Mineralógica, 173.

Estructura de las rocas, 174.

Rocas detríticas, 174.—Rocas en masa, 175.

Posición de las rocas (Geotectónica), 176.—Arquitectónica de las rocas cristalinas y eruptivas, 176.—Caracteres generales de los estratos, 178.—*Espesor*, 178.—*Dirección y buzamiento*, 178.—*Planos de juntura*, 179.—*Estratos monoclinales y diclinales*, 179.—*Estratos concordantes y discordantes*, 180.—Fallas, 181.—Filones metalíferos, 181.

METAMORFISMO, 182.

CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS ROCAS, 183.

Clasificación, 183.

I. Rocas de origen exclusivamente mineral, 183.

Rocas en masa, 184.—Granito, 184.—Sienita, 185.—Rocas en venas, 185.—Rocas en corrientes, 185.—Pórfidos, 186.—Traquitas, 186.—Vidrios volcánicos, 187.—Basaltos, 187.

Rocas estratificadas, 187. a) Cristalinas, 188.—Gneis, 188.—Pizarras cristalinas, 189.—Calizas cristalinas, 189.—Cuarcita, 189. b) No cristalinas, 189.—Arcillas, 189.—Pizarras arcillosas, 190.—Areniscas, 190.—Tobas, 190.—Arenas, gravas y cantos rodados, 190.

II. Rocas de origen orgánico, 191.

Calcáreas, 191.—Fosfatadas, 192.—Silíceas, 192.—Carbonosas, 192.

Apéndice.

Rocas extraterrestres: meteoritos, 193.

GEOLOGIA HISTORICA

Generalidades, 194.—Formación sucesiva de la corteza terrestre, 195.—Fósiles, 195.—Fosilización, 195.—Paleontología, 196.—Cronología geológica, 197.—División de los tiempos geológicos, 198.

GRUPO ARCAICO, 198.

Sus caracteres, 198.—Origen de las rocas arcaicas, 199.—Distribución, 199.

GRUPO PRIMARIO O PALEOZOICO, 200.

Caracteres generales y división del grupo, 200.—Sistema cámbrico, 200.—Sistema silúrico, 200.—Sistema devónico, 201.—Sistema permo-carbónico, 201.—Estado de la Tierra durante la era paleozoica, 203.—Paleozoico español, 204.

GRUPO SECUNDARIO O MESOZOICO, 204.

Caracteres generales y división del grupo, 204.—Sistema triásico, 205.—Sistema jurásico, 205.—Sistema cretácico, 206.—Estado de la Tierra durante la época secundaria, 207.—Distribución, 208.

GRUPO TERCIARIO O CENOZOICO, 209.

Caracteres generales y división del grupo, 209.—Sistema eocénico, 210.—Sistema miocénico, 211.—Sistema pliocénico, 211.—Estado de la Tierra durante la era terciaria, 212.—Distribución, 212.

GRUPOS POSTERCIARIO O CUATERNARIO Y MODERNO, 213.

Rocas, 213.—Cuaternario, 214.—Fauna, 214.—Causas del frío cuaternario, 215.—Cuaternario español, 216.—Moderno, 216.

BREVE IDEA DE LA ESTRUCTURA GEOLÓGICA DE LA PENÍNSULA IBÉRICA, 219.—BREVES INDICACIONES ACERCA DE LA RECOLECCIÓN Y PREPARACIÓN DE LOS EJEMPLARES GEOLÓGICOS, 223.

Minerales y rocas, 223.—Excursiones, 223.—Recolección, 224.—Estudio, 225.—Cortes geológicos, 227.—Fósiles, 228.—Búsqueda, 228.—Extracción, 229.

BIBLIOGRAFÍA, 231.



Nuevos Elementos de Historia Natural

POR

I. BOLÍVAR y S. CALDERÓN

Geología.....	9 pesetas
Biología (Botánica y Zoología).....	25 —
La obra completa encuadernada en un tomo	32 —
Biología y Botánica.....	31 —
Zoología.....	11 —
La encuadernación aumentada en una peseta el precio de cada tomo.	



Instituto