

NEROS

92

o

(c) Instituto del Cardenal Cisneros de Madrid

Encuadernación y Libros

DE

- S. PRESA -

CASA FUNDADA EN 1883

RUIZ DE SALAZAR, 22. - LEÓN

6859

GEOLOGIA

BFA CN

79

RESUMEN

DE

HISTORIA NATURAL

(GEOLOGÍA)

EDICIÓN ABRILIADA DEL
LIBRO ELEMENTAL
DE HISTORIA NATURAL

GEOLOGÍA

FRANCO AREVALO

CON UN MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA

EDITADO POR EL INSTITUTO DEL CARDENAL CISNEROS DE MADRID
CALLE DE ALFONSO XII, 10. MADRID

MADRID

1951

T23/92

GEOLÓGIA

T23/92

RESUMEN

DE

HISTORIA NATURAL

(GEOLOGÍA)

GEOLOGIA

4.^a EDICIÓN ABREVIADA DEL
TRATADO ELEMENTAL
DE HISTORIA NATURAL

POR

CELSO ARÉVALO

DOCTOR EN CIENCIAS NATURALES

Y CATEDRÁTICO DE ESTA ENSEÑANZA EN EL INSTITUTO DEL CARDENAL CISNEROS

JEFE DE SECCIÓN DEL MUSEO NACIONAL DE CIENCIAS NATURALES

Reg-926

MADRID

(c) Instituto del Cardenal Cisneros de Madrid

1921

RESUMEN

DE

HISTORIA NATURAL

(GEOLOGIA)

4.^a EDICIÓN ABREVIADA DEL
TRATADO ELEMENTAL
DE HISTORIA NATURAL

POR

CELSO ARÉVALO

DOCTOR EN CIENCIAS NATURALES
Y CATEDRÁTICO DE ESTA ASIGNATURA EN EL INSTITUTO DEL CARDENAL CISNEROS
Jefe de Sección del Museo Nacional de Ciencias Naturales

MADRID

MADRID: IMPRENTA MAROTO, ALCÁNTARA, 9 Y 11

GEOLOGÍA

La Geología es la ciencia que tiene por objeto el conocimiento del planeta que habitamos. Para su estudio la consideraremos dividida en cuatro partes.

La primera, denominada GEOGNOSIA, estudia los materiales que componen la corteza terrestre, y comprende la *Mineralogía*, y la *Litología* o *Petrografía*.

La Mineralogía estudia los minerales, es decir, las especies químicas que se encuentran formando parte de la corteza terrestre. Esta ciencia es, por consiguiente, una parte de la Geología, y su conocimiento es, desde luego, indispensable al geólogo, pero forma una disciplina científica hasta cierto punto independiente de la Geología propiamente dicha, por tener medios propios de investigación y porque su carácter absolutamente analítico y su interés especialmente industrial la separan de la Geología, ciencia de carácter más sintético y filosófico.

La Mineralogía comprende dos partes: una, *general* o *característica*, así llamada porque estudia los caracteres de los minerales, y otra, *especial*, *descriptiva* o *Minerografía*, que los denomina, clasifica y describe. Como el carácter más importante de los minerales, y al que están subordinados todos los demás, es el de la cristalización, la Mineralogía general viene a coincidir casi exactamente con la *Cristalografía*. En



realidad, la Cristalografía es una parte de las ciencias físicas que estudia la estructura de la materia inorgánica, deduciendo de ella las leyes de la forma cristalina y la explicación de los fenómenos físicos y químicos peculiares a la materia cristalizada: dentro de la Mineralogía, la Cristalografía tiene, pues, solamente un interés práctico como base de diagnóstico de las especies minerales; pero el clasicismo científico la mantiene unida a la Mineralogía, porque mineralogistas han sido los que han fundado y cultivado la hermosa ciencia de la cristalización, sobre minerales se han hecho los principales y mas importantes estudios cristalográficos, y en la Mineralogía encuentra la Cristalografía una de sus más brillantes aplicaciones.

La Petrografía estudia las rocas o piedras que son agregados, más o menos variados, de minerales que forman grandes masas, las cuales deben por ello ser tenidas particularmente en cuenta en el estudio de la corteza terrestre.

La segunda parte de la Geología abarca la descripción general del globo, y la designaremos con el nombre de FISIOGRAFIA, casi sinónimo de *Geografía física*. Las relaciones de esta última ciencia con la Geología propiamente dicha son tan grandes que resulta no siempre fácil deslindar sus campos respectivos, hasta el punto de que las definiciones que se han dado para precisar la extensión de la Geografía física y de la Geología más sirven para demostrar sus grandes relaciones; así se ha dicho que *la Geografía estudia el suelo y la Geología el subsuelo*, y también muy exactamente respondiendo a la nueva orientación explicativa de la Geografía, que *ésta es la ciencia del presente de la tierra explicado por el pasado, y la Geología la ciencia del pasado explicado por el presente*.

La tercera parte, denominada GEODINÁMICA, y mas frecuentemente *Geología dinámica*, estudia las modificaciones que la corteza terrestre sufre por la acción de los diversos agentes geológicos, tanto externos como internos.

Por último, la GEOGENIA o *Geología histórica*, la parte de caracter geológico más genuino, investiga las vicisitudes que la tierra ha sufrido, historiando las transformaciones que en ella se han verificado en el transcurso de los periodos geológicos.

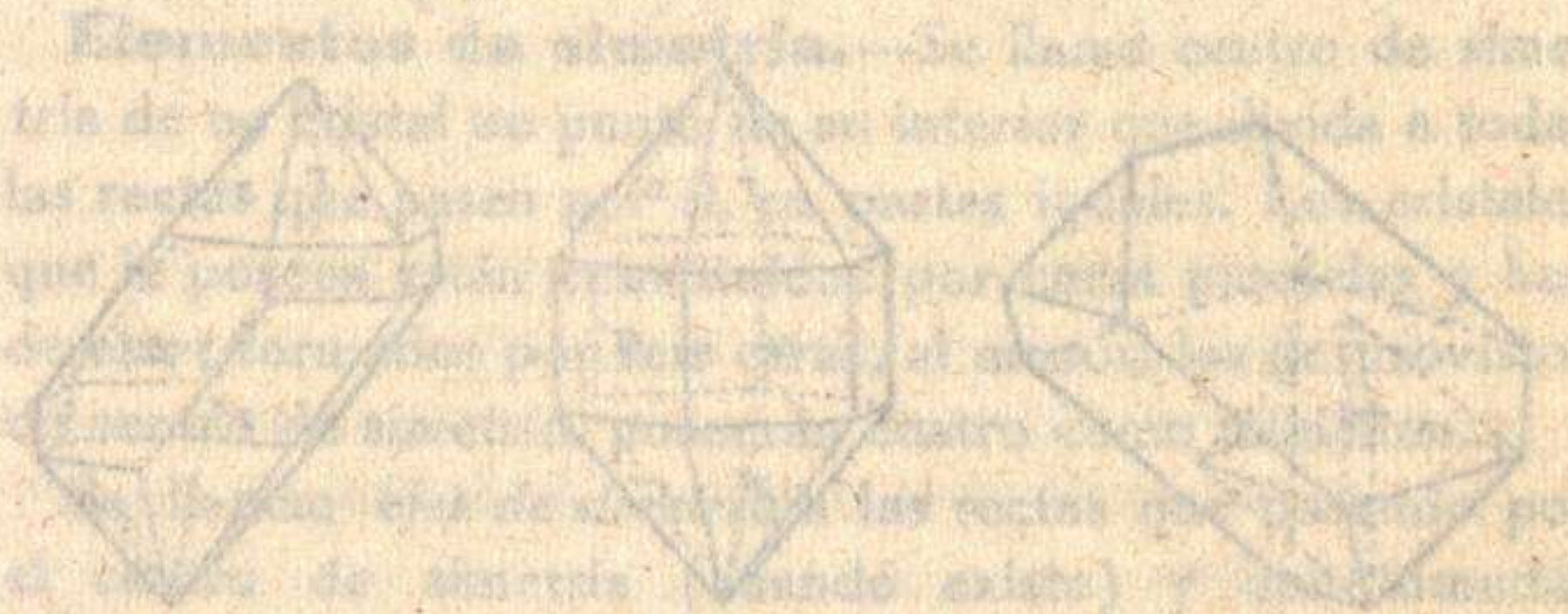
MINERALOGIA

MINERALOGIA GENERAL

Cristalografía geométrica.

Minerales cristalizados, cristales y amor-
fos.—Frecuentemente los minerales se presentan bajo for-
mas polédricas llamadas cristales; otras veces, en cambio,
en masas llamadas cristalinias. Algunas veces minerales no
se presentan nunca en cristales, pueden retardarse a la
cristalización y se llaman amorfos.

Ley de la conservación de los diédros.—Los ángu-
los diédros conservan el mismo valor en todos los cris-



Por último la Geología o Geología histórica la parte de
carácter geológico más genuino investiga las vicisitudes que
la tierra ha sufrido, históricamente las transformaciones que en
ella se han verificado en el transcurso de los períodos geo-

lógicos

G E O G N O S I A

MINERALOGÍA

MINERALOGIA GENERAL

Cristalografía geométrica.

**Minerales cristalizados, cristalinos y amor-
fos.**—Frecuentemente los minerales se presentan bajo for-
mas poliédricas llamadas cristales; otras veces, en cambio,
en masas llamadas cristalinas. Algunos raros minerales no
se presentan nunca en cristales, pues son refractarios a la
cristalización y se llaman amorfos.

Ley de la constancia de los diedros.—Los ángu-
los diedros conservan el mismo valor en todos los cris-

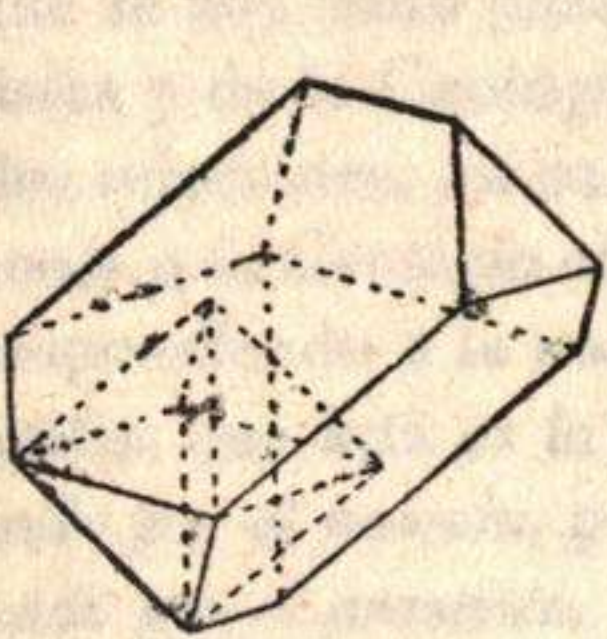


Fig. 1.

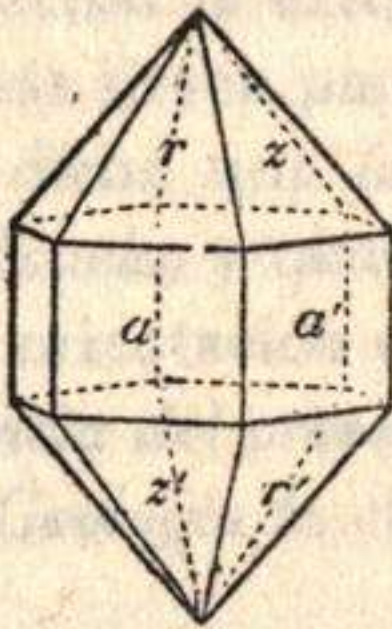


Fig. 2.

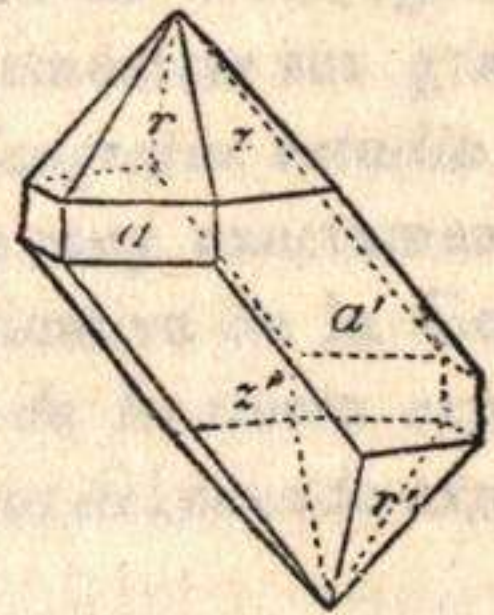


Fig. 3.

tales de la misma sustancia, aunque el aspecto de ellos sea
muy diferente, es decir, que las caras de los cristales pueden

modificarse en forma y dimensiones, pero conservando su recíproca posición (fig. 1.^a); cuando todas las caras de la misma forma están igualmente desarrolladas, por equidistar del centro, se llama proporcionada (fig. 2.^a) y en caso contrario, desproporcionada (fig. 3.^a). La medición de diedros en los cristales es operación frecuente en mineralogía empleándose aparatos llamados *goniómetros* de los cuales el mas sencillo (goniometro de aplicación) consta de dos alidades (fig. 4.^a) que se aplican al diedro perpendicularmente

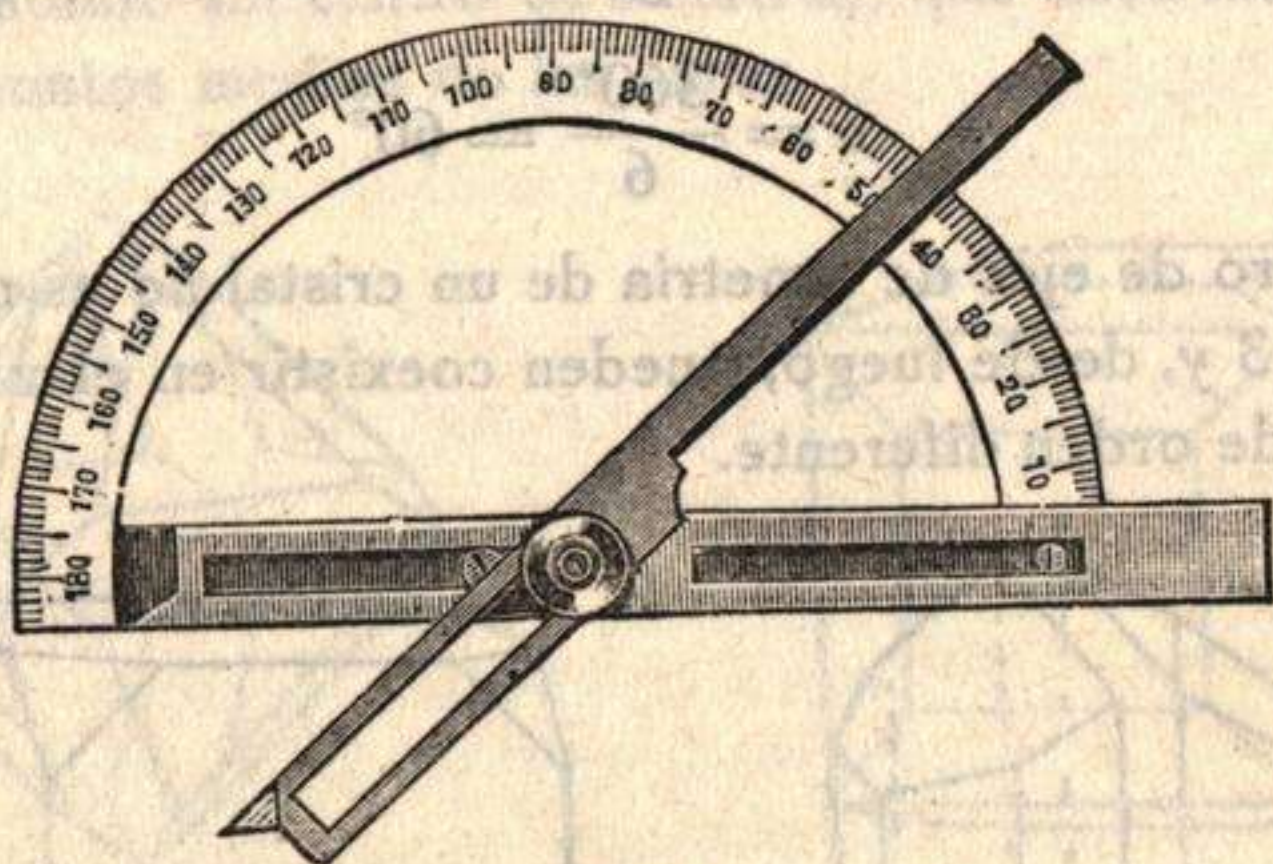


Fig: 4.

a su arista, señalando su valor el opuesto por el vértice, en un semicírculo graduado.

Elementos de simetría.—Se llama centro de simetría de un cristal un punto de su interior que divida a todas las rectas que pasen por él, en partes iguales. Los cristales que le poseen están constituidos por caras paralelas y han de estar formados por seis caras, al menos; los desprovistos de centro de simetría, poseerán cuatro como minimum.

Se llaman *ejes de simetría* a las rectas que pasando por el centro de simetría (cuando existe) y que tomadas como ejes de giro del cristal, éste pasa por un cierto número de posiciones que coinciden con la inicial. El ángulo α , de giro entre dos posiciones sucesivas de coincidencia, es siempre el mismo, y, por tanto, si n es el número de

coincidencias del cristal en un giro completo, se tendrá evidentemente $a = \frac{360^\circ}{n}$, fórmula en la que n , siempre entero y cuyo valor se denomina *orden del eje*, nunca es 5 ni mayor de 6, diciéndose que el eje de simetría es *binario*, *ternario*, *cuaternario* o *senario*, según el número de coincidencias sea respectivamente 2, 3, 4 o 6, y la distancia angular entre ellas, en cada caso, será:

$$a = \frac{360^\circ}{2} = 180^\circ \quad a = \frac{360^\circ}{3} = 120^\circ \quad a = \frac{360^\circ}{4} = 90^\circ$$

$$a = \frac{360^\circ}{6} = 60^\circ$$

El número de ejes de simetría de un cristal no es nunca mayor de 13 y, desde luego, pueden coexistir en el mismo cristal ejes de orden diferente.

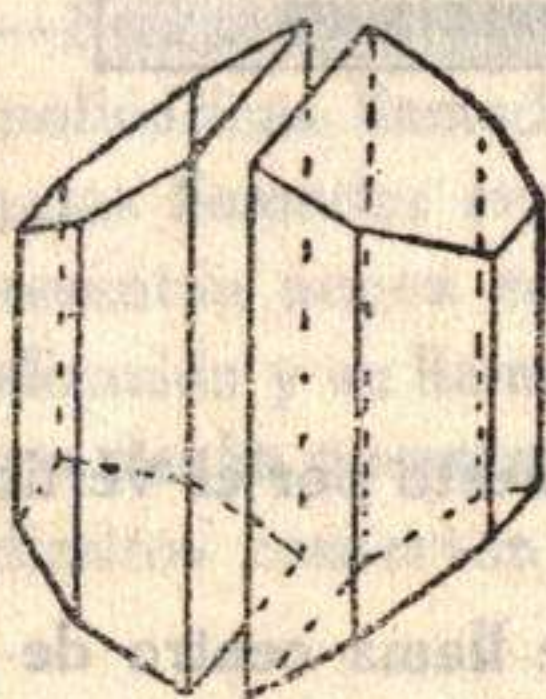


Fig. 5.

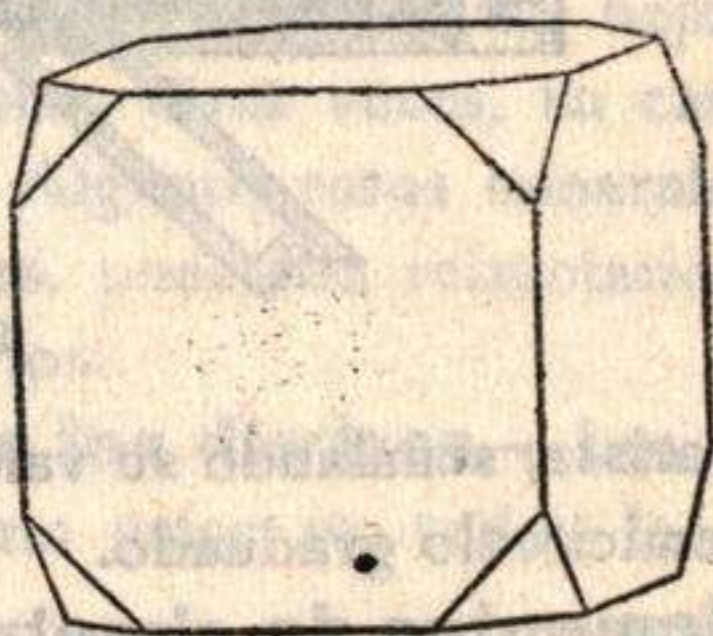


Fig. 6.

Cuando al verificarse una coincidencia del cristal al girar alrededor de un eje de simetría, varios otros se reemplazan, se dice que son *equivalentes* y el eje de giro normal a ellos tiene un orden de simetría superior a 2 llamándose *eje principal de simetría*.

Todo plano perpendicular a un eje de simetría que pase por el centro de simetría, o determinado por dos ejes de simetría, es a su vez un *plano de simetría* del cristal y tiene la propiedad de dividirlo en dos partes simétricas, (fig. 5) es

decir, como el objeto y su imagen en un espejo plano. El plano de simetría determinado por dos ejes equivalentes, y perpendicular, por tanto, al eje principal de simetría, se llama *plano principal de simetría*; cuando existen su número puede ser 3 ó 1.

Cuando no hay centro de simetría, la existencia de un eje no implica la del plano de simetría perpendicular, y el eje de simetría se dice entonces que es polar, porque sus extremos no son simétricos; tal ocurre a los ejes ternarios del tetraedro (sólido sin centro de simetría), que unen los vértices con los puntos medios de las caras.

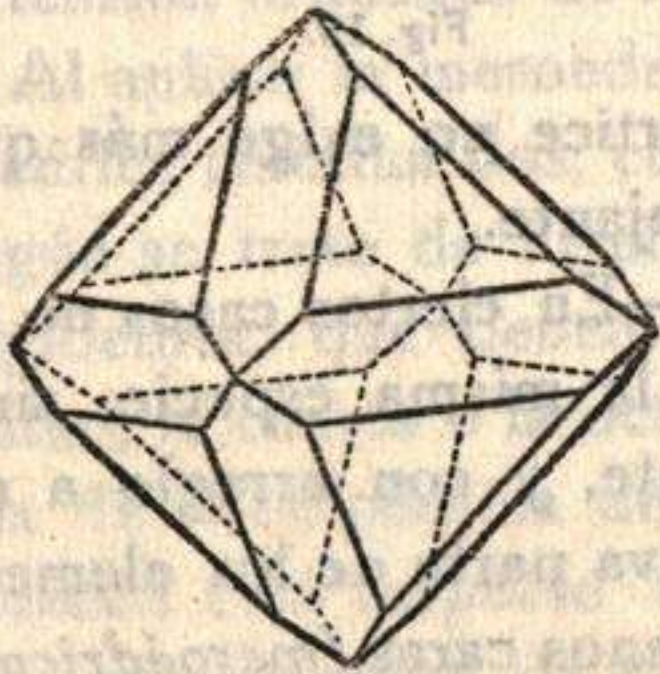


Fig. 7.

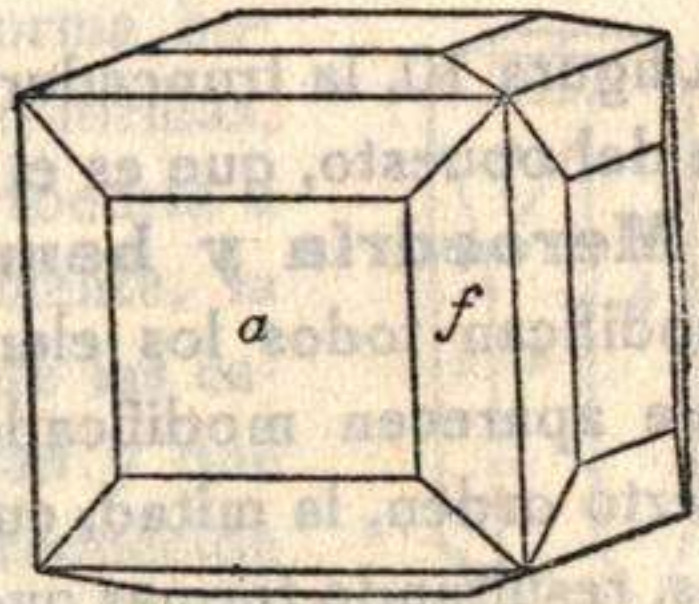


Fig. 8.

Ley de simetría.—Los elementos geométricos de una forma cristalina pueden presentar tres clases de modificaciones las cuales interesan a todos los de la misma especie; a saber, el *truncamiento* de aristas o vértices, que consiste en su sustitución por una cara; el *biselamiento* de las aristas, o sustitución de ellas por otra arista más obtusa, y el *apuntamiento*, o sustitución de un vertice por otro más obtuso. Así, en la figura 6 aparecen truncados todos los vértices de un cubo; en la 7, todas las aristas de un octaedro, y en la 8, biseladas todas las aristas de un cubo, porque en estos casos las aristas y vértices del cubo y el octaedro son todas de una misma especie, mientras que la truncadura de una arista básica de una prisma exagonal no implica más

que la truncadura de las otras once, pero no de las verticales, por ser de naturaleza distinta, como puede verse en la figura 9, y en un octaedro de ejes desiguales, como el de

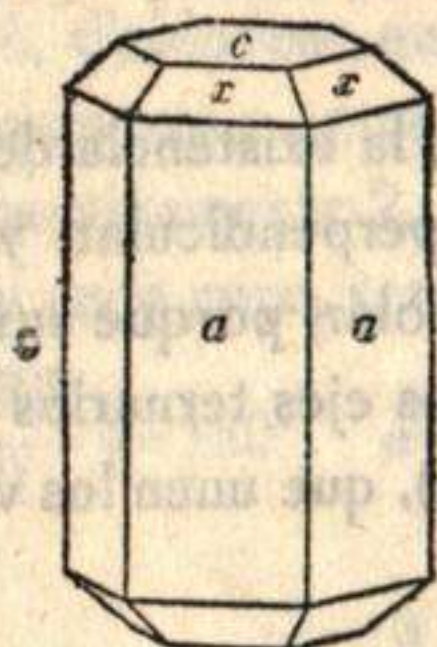


Fig. 9.

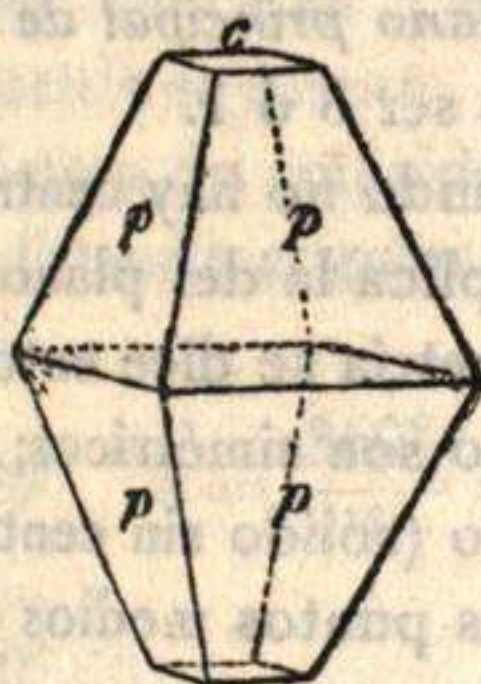


Fig. 10.

la figura 10, la truncadura de un vértice no exige más que la del opuesto, que es el único semejante.

Meroedría y hemimorfía.—En ciertos casos no se modifican todos los elementos de la misma especie, sino que aparecen modificados solamente, y con arreglo a un cierto orden, la mitad, cuarta u octava parte de los elementos, resultando formas que poseen menos caras (*meroédricas*)

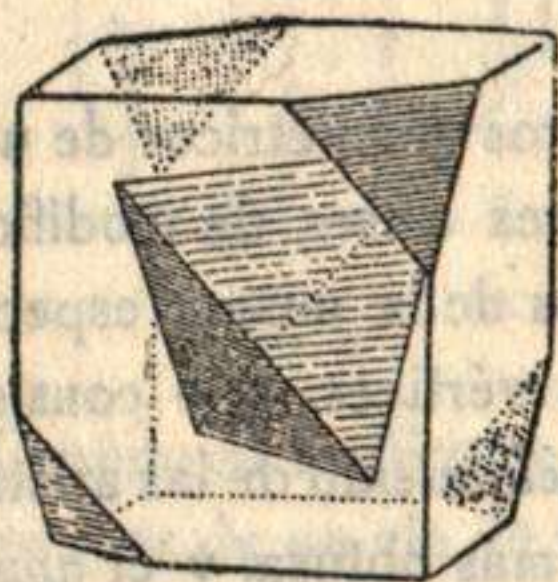


Fig. 11.

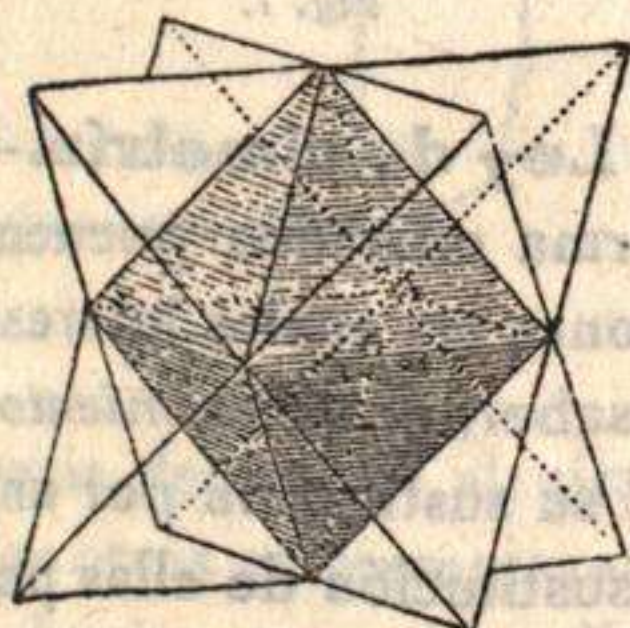


Fig. 12.

y elementos de simetría que las que resultan de modificar todos los elementos de la misma clase (*holoédricas*), denominándose *hemiédricas* si poseen la mitad de las caras de la holoédrica, *tetartoédricas* si la cuarta parte y *ogdoédricas* si la octava parte. Así, truncando todos los vértices del cubo

se obtiene el octaedro: forma de ocho caras (tantas como vértices) y que tiene los mismos elementos de simetría que el cubo, siendo, por tanto, como éste, una forma holoédrica; pero si truncamos alternativamente (fig. 11) la mitad de los vértices, resulta el tetraedro, forma hemiédrica del octaedro, que posee la mitad de las caras que éste y menos elementos de simetría.

Las formas meroédricas pueden considerarse derivadas de las holoédricas por la supresión ordenada de parte de las caras, que resulta de extender las restantes; así, el tetraedro puede considerarse derivado del octaedro (fig. 12), por la extensión ordenada de la mitad de las caras.

Al aplicar la meroedría a una forma holoédrica resultan dos, cuatro u ocho formas, según se trate de hemiedría, tetartoedría u ogdoedría, que tienen respectivamente, la mitad, la cuarta o la octava parte de las caras de la holoédrica de que derivan y que ofrecen con respecto a ella una reducción en los elementos de simetría (desaparición de unos, conversión de los ejes en polares, en caso de desaparición del centro de simetría, y reducción a la mitad del orden de los ejes de orden par). Los hemiedros que resultan de un mismo holoedro pueden ser enantiomorfos, es decir, simétricos, pero no superponibles (*plagiedros*), o superponibles, y por tanto, iguales, pero conservando caras paralelas (*parahemiedros*) o sin ellas, por desaparición del centro (*antihemiedros*). La aplicación simultánea de dos hemiedrias produce las tetartoedrias.

Cuando en un cristal se suprimen la mitad de las caras en el extremo de un eje de simetría que no tenga equivalentes y se conservan las opuestas, el cristal se llama hemimórfico. Las formas hemimórficas (figs. 13) se caracterizan por no tener nunca centro de simetría, por lo que los ejes, al no tener planos de simetría normales, son siempre polares.

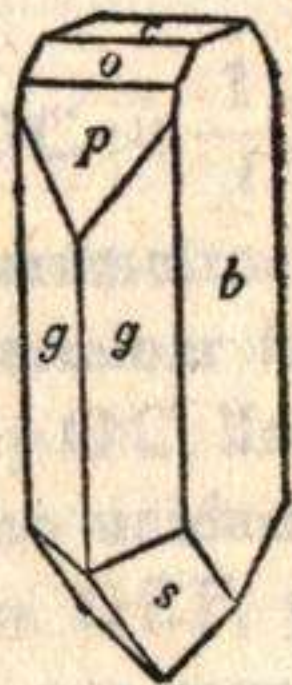


Fig. 13.

se obtiene el octaedro: forma de ocho caras (seis como vértices) y que tiene los mismos elementos de simetría que el cubo, siendo, por tanto, como éste, una forma holédrica; pero si truncamos sucesivamente (fig. 11) la mitad de los vértices, resulta el tetraedro, forma holédrica del octaedro que posee la mitad de las caras que éste y menos elementos de simetría.

Las formas más sencillas que en cristalografía derivadas de las holédricas por la supresión ordenada de parte de las caras, que resultan de extender las caras; así, el tetraedro puede considerarse derivado del octaedro (fig. 12), por la extensión ordenada de la mitad de las caras.

Al aplicar la mesocedria a una forma holédrica resulta los cuatro tipos de formas que se tratan de hemiedras holédricas u oligohedros que tienen respectivamente la mitad de las caras de la forma original y que son la holédrica de que derivan y que ofrecen con respecto a ella un carácter de simetría de simetría de la forma original, en caso de que la forma original sea holédrica. En el caso de que la forma original sea oligohédrica, la mesocedria produce formas que pueden ser consideradas como formas holédricas (oligohedros) o formas oligohédricas (oligohedros) pero conservando caras que se aplican a ellas por despartición del centro (simetría) y que producen las tetrahedras.

Cuando un cristal se suprime la mitad de las caras el resultado es un eje de simetría que no tenga equivalentes y se conservan las caras, el cristal se llama hemihédrico. Las formas hemihédricas (fig. 13) se caracterizan por no tener nunca centro de simetría, y por lo que, si no tienen planos de simetría normales, son siempre polares.

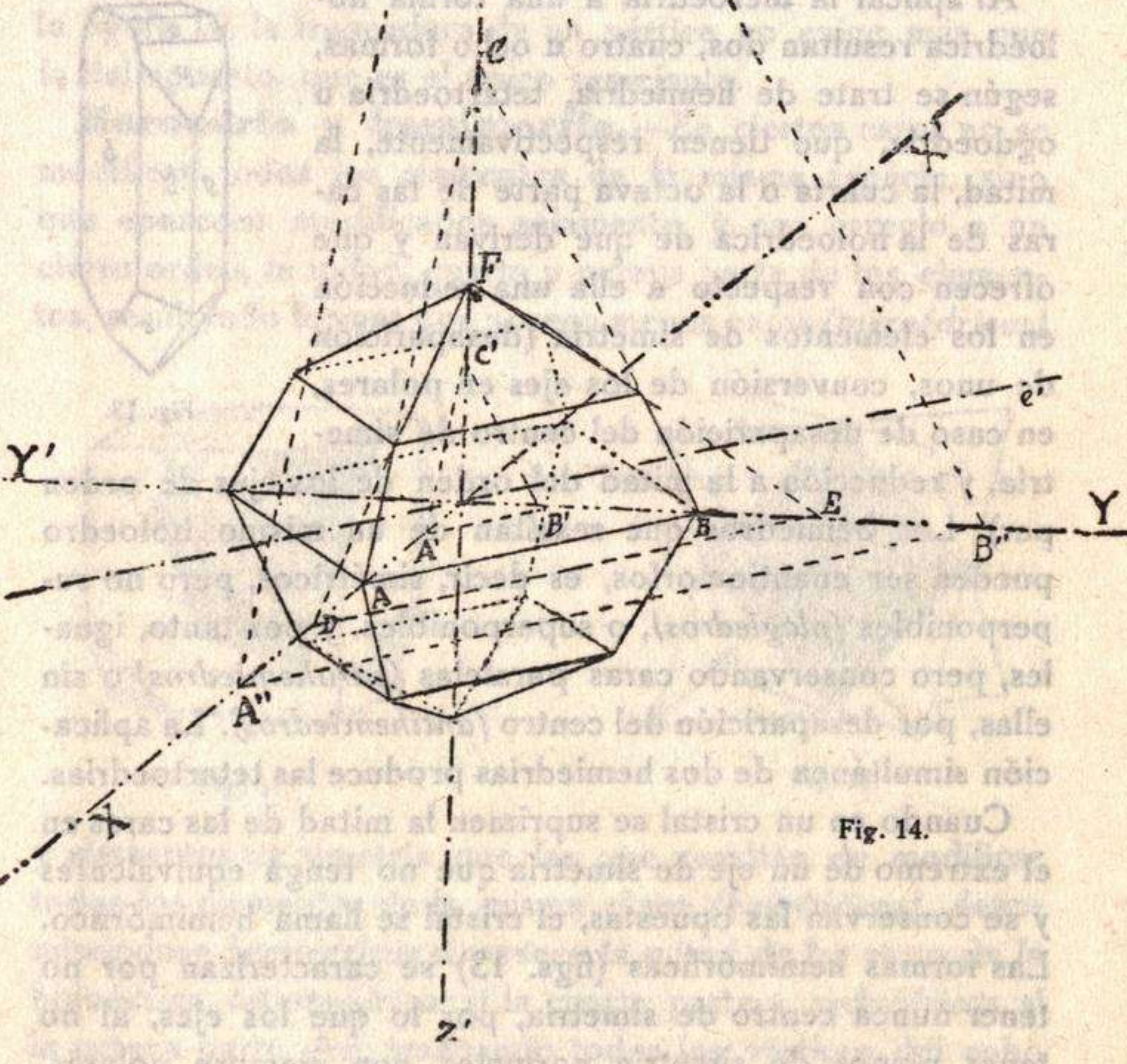


Fig. 14.

Elementos cristalográficos.—En todo cristal se consideran 3 planos que se cortan en un punto y que le dividen en 8 partes llamadas octantes, definiendo por su intersección recíproca 3 ejes llamados cristalográficos, de los cuales el uno se coloca verticalmente, otro en sentido transverso y el tercero anteroposterior. Orientado así el cristal, toda cara nos será conocida en cuanto sepamos el valor relativo, que es constante de los segmentos interceptados en los ejes. Si ABC y DEF, son dos caras (fig. 14) dichos segmentos o parámetros serán, respectivamente, OA, OB, OC y OD, OE, OF; tengamos;

$$OA = OD \times h; \quad OB = OE \times k; \quad OC = OF \times l;$$

de donde

$$OD = OA \times \frac{1}{h}; \quad OE = OB \times \frac{1}{k}; \quad OF = OC \times \frac{1}{l}.$$

Estos tres números, h, k, l , inversos de los parámetros, son siempre números enteros y bastan para determinar la cara DEF, puesto que los parámetros OA, OB y OC, llamados fundamentales, son fijos y se toman como unidad.

La expresión hkl sirve para simbolizar la cara DEF, y se llama por ésto su *símbolo*; los tres números de que consta se denominan *índices*, de los cuales el primero se relaciona con el eje anteroposterior, el segundo con el transversal y el tercero con el vertical. (hkl) representa la forma a que la cara hkl pertenece.

Cuando una cara es paralela a un eje, al parámetro correspondiente a él es infinito y su índice cero. Así en una

cara paralela al eje YY', $OE = \infty \quad k = \frac{1}{\infty} = 0$, su símbo-

lo será $h0l$. Con arreglo a la posición con respecto a los ejes, se dividen las caras en *piramidales*, cuando cortan a los tres ejes, ejemplo: (hkl) ; *prismáticas*, si cortan a dos y son paralelas al otro, ejemplo: (hko) ; *pinacoidales*, si cortan a uno y son paralelas a los otros dos, ejemplo: (hoo) . Toda cara evidentemente corta por lo menos a un eje.

Cuando dos parámetros son iguales, sus índices también lo son; así si $OD = OE$, $h = \frac{1}{OD} = \frac{1}{OE} = k$; luego el símbolo podrá escribirse hhl . Las caras se llaman equiparamétricas cuando sus tres parámetros son iguales, ejemplo: hhh ; binequiparamétricas, si lo son dos, ejemplo. hhl , y triequiparamétricas, si los tres son desiguales, ejemplo: hol .

Dado el símbolo de una cara, se conoce, pues, perfectamente su posición; así, la cara 110 indica que corta el eje anteroposterior y al transversal a la misma distancia y es paralela al vertical.

Las distintas caras de una misma forma se distinguen por la colocación y por el signo de sus índices, que indican si la cara corta al eje correspondiente en su porción positiva y negativa; así $h\bar{k}l$ y $\bar{h}k\bar{l}$ son dos caras opuestas de la misma forma por tener sus signos cambiados. El número de caras de una forma puede deducirse de su símbolo; pues haciendo todas las permutaciones de lugar y signo con sus tres índices obtendremos los símbolos de todas sus caras; así la forma (hkl) tendrá 48 caras. En estas consideraciones hemos supuesto equivalentes a los tres ejes pero cuando no lo son, sus índices no son permutables y el número de sus caras es por lo tanto menor. Si los tres índices tienen un factor común el símbolo puede simplificarse y por ello ciertas formas no pueden tener más que un símbolo, como (hhh) (hho) (hoo) que serán respectivamente (111) (110) y (100) (formas de símbolo constante).

Formas cristalinas compuestas.— El conjunto de caras que tienen intersecciones paralelas constituye lo que se llama una *zona*.

Cuando todas las caras de un cristal tienen la misma relación paramétrica, se dice que esta constituido por una forma cristalina *simple*; pero en un mismo cristal pueden coexistir dos o más formas simples, es decir, cada una con su relación paramétrica característica, diciéndose que la forma cris-

talina es *compuesta* de dos o más simples. Las formas cristalinas simples que se asocian para formar un cristal, han de tener los mismos elementos de simetría (a veces reducidos por meroedría), y de sus caras no subsisten más que las porciones internas limitadas por la otra. Así, en la figura 15 se ha dibujado una combinación de cubo y octaedro, formas que tienen los mismos elementos de simetría, y al lado

(fig. 16) puede verse tal como dicha combinación se presenta en la naturaleza. Dada esta manera especial de encontrarse asocia-

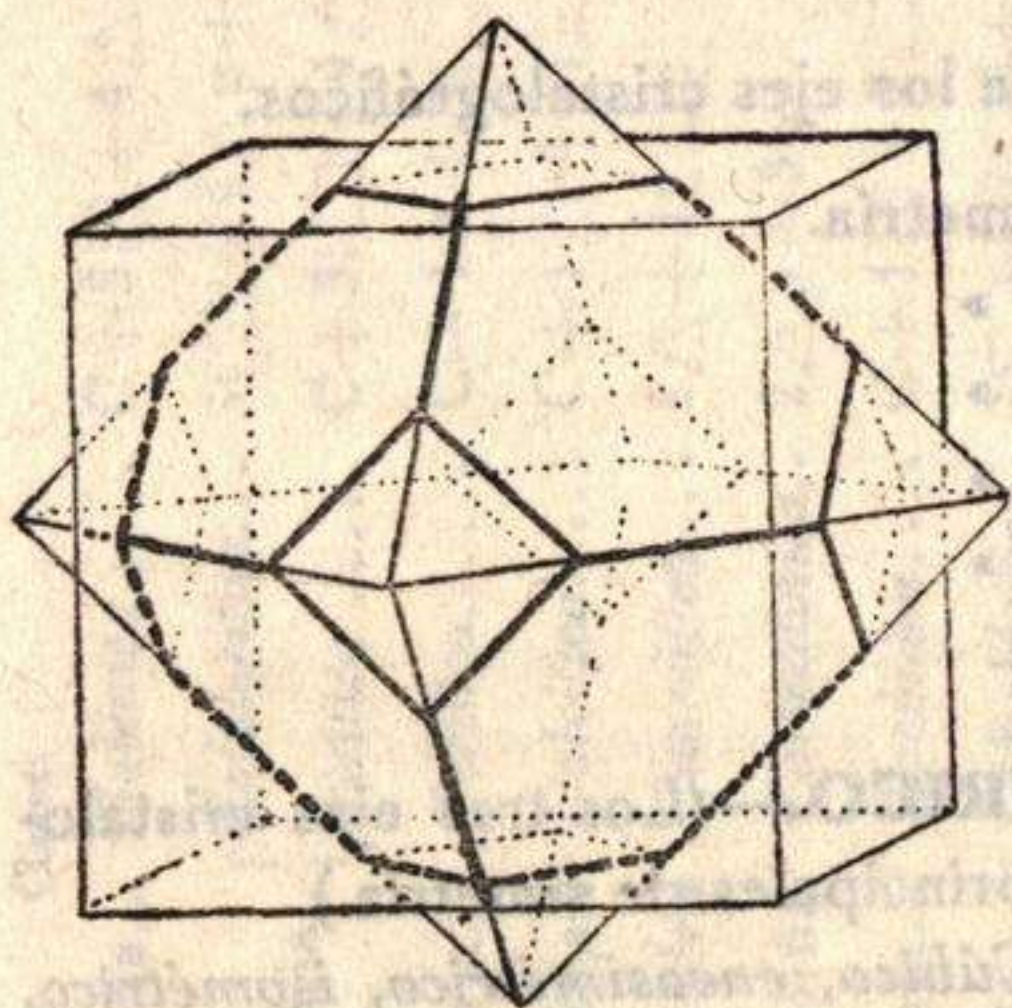


Fig. 15.

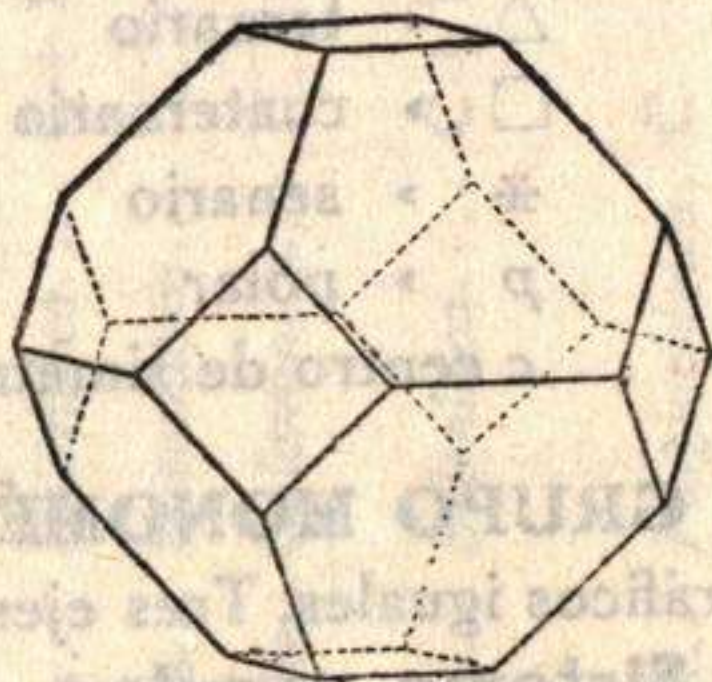


Fig. 16.

das las formas cristalinas, es fácil comprender por qué éstas no ofrecen ángulos entrantes, siendo siempre poliedros convexos.

Cuando en una combinación las caras de una forma están preferentemente desarrolladas, se dice que es la *dominante*, y las otras *subordinadas*. Así, en el cubo octaedro de la figura 6, el cubo es la forma dominante mientras que en el de la figura 16 lo es el octaedro.

Clasificación cristalográfica.—Las formas cristalinas que tienen los mismos elementos de simetría se reúnen en la misma *clase*. El conjunto de clases que pueden derivarse de una de ellas por meroedría, constituye un *sistema cristalino*, en el que la clase fundamental de la cual se

derivan las demás, se llama holoédrica, mientras que las derivadas son meroédricas o hemimórficas. El conjunto de sistemas con los mismos elementos principales de simetría forman un *grupo* cristalino.

De las 32 clases cristalográficas que existen solo mencionaremos aquí las 14 que tienen principal interés mineralógico distribuidas según el cuadro de la página siguiente en el que se emplean los siguientes simbolismos:

$a b c$ magnitudes }
 $\alpha \beta \gamma$ ángulos } de los ejes cristalográficos.

□ eje binario de simetría.

△ > ternario >

□ > cuaternario >

* > senario >

p > polar >

c centro de simetría.

GRUPO MONOMÉTRICO.—(Los tres ejes cristalográficos iguales. Tres ejes principales de simetría.)

Sistema regular. (*Cúbico, eneasimétrico, isométrico, monométrico, teseral, tercuaternario, etc.*)—Es característico de las formas de este sistema el tener cuatro ejes ternarios y tres cuaternarios o binarios perpendiculares entre sí y equivalentes que se toman como ejes cristalográficos, en los cuales, por ser iguales y perpendiculares, se verifica

$$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ,$$

puesto que b se toma siempre por unidad, no habiendo por tanto ninguna incógnita ni tampoco propiedad característica alguna para los cristales de las distintas especies minerales que a este sistema pertenecen.

FORMAS HOLOÉDRICAS. (*Clase 1.^a, Galénica.*)—Están caracterizadas por tener 13 ejes de simetría, de los cuales tres principales son cuaternarios y equivalentes tomándose como ejes cristalográficos, cuatro ternarios y seis binarios. Estos

Grupos.	Sistemas.	Clases.
Monométrico $a = b = 1 = c.$	Regular $a = b = c = 90^\circ \dots$	{ Holuedria.. Galénica..... $C + 3\Box + 4\Delta + 6\Box + 3P + 6p$ Hemiedria.. { Esfalerítica... $3\Box + 4\Delta p + 6p$ Pirítica..... $C + 3\Box + 4\Delta + 3P$
		{ Holuedria.. Berílica..... $C + 1\ast + 3\Box + 3\Box + 1P + 3p + 3p$ Hemiedria.. Calcítica..... $C + 1\Delta + 3\Box + 3p$ Tetartoedria Cuarcítica... $1\Delta + 1\Box p$ Hemimorfia. Turmalínica.. $2\Delta p + 3p$
Dimétrico $a = b = 1 \pm c.$	Exagonal $a = b = 90^\circ > c = 60$	{ Holuedria.. Zircónica..... $C + 1\Box + 2\Box + 2\Box + 1P + 2p + 2p$ Hemiedria.. Calcopirítica. $1\Box + 2\Box + 2p$
		{ Holuedria.. Baritínica... $C + 1\Box + 1\Box + 1\Box + 1p + 1p + 1p$ Hemiedria.. Epsomítica... $1\Box + 1\Box + 1\Box$ Hemimorfia. Calaminica... $1\Box p + 1p + 1p$
Trimétrico $a \pm b = 1 \pm c.$	Rómbico $a = b = c = 90^\circ \dots$	{ Holuedria.. Selenítica..... $C + 1\Box + 4q$ Hemiedria.. Plagioclásica. C
		{ Holuedria.. Plagioclásica. C

ejes determinan nueve planos, tres principales y seis secundarios, que se llaman respectivamente *diametrales* y *diagonales*, por la manera que en el cubo (fig. 17) cortan a sus caras. Existe además centro de simetría.

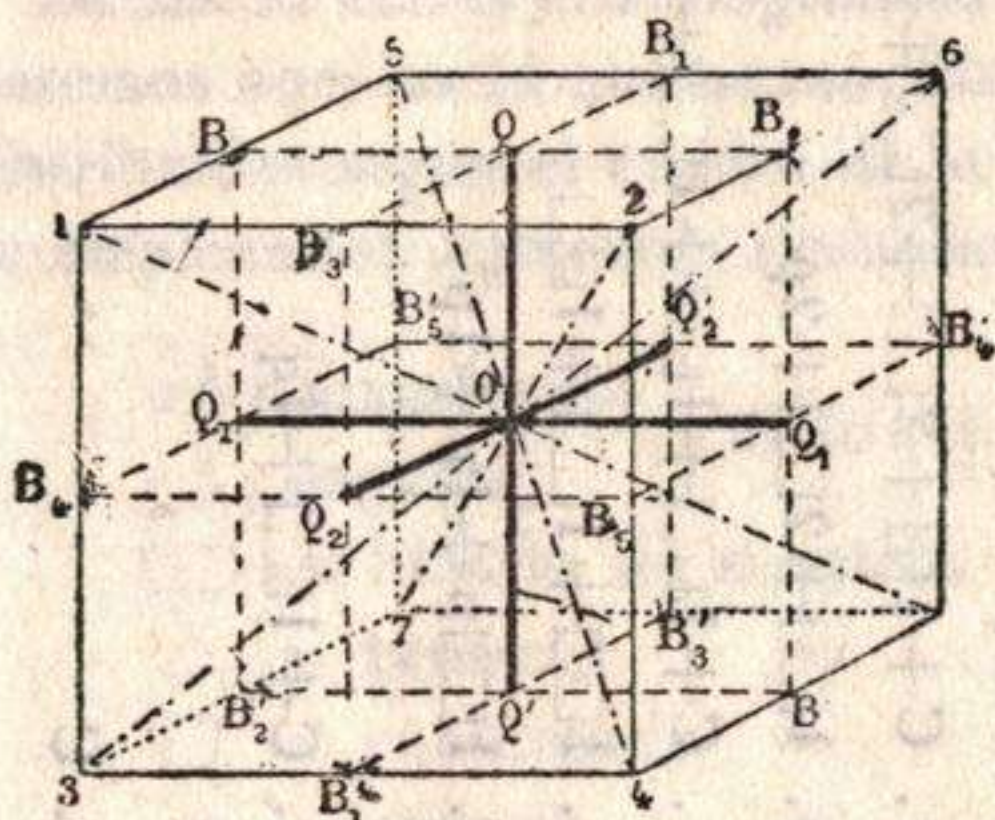


Fig. 17.

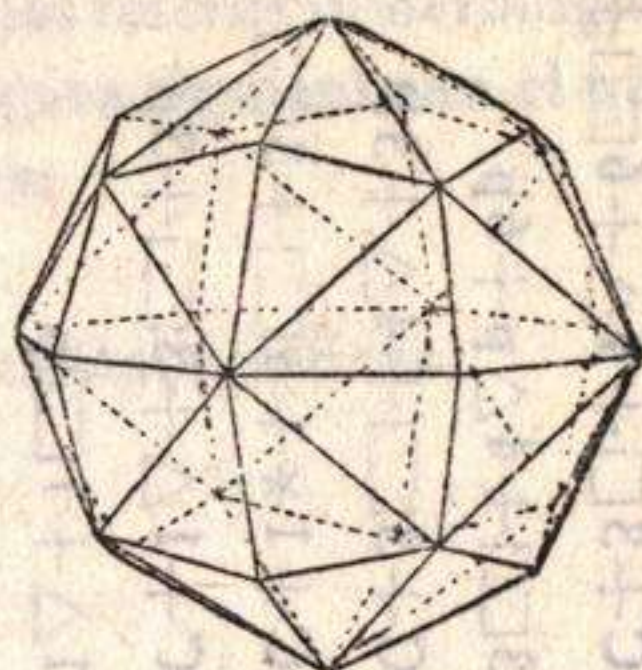


Fig. 18.

Existen siete formas, a saber, (1) cuatro piramidales, dos prismáticas y una pinacoidal; el *exaquisoctaedro* (fig. 18)

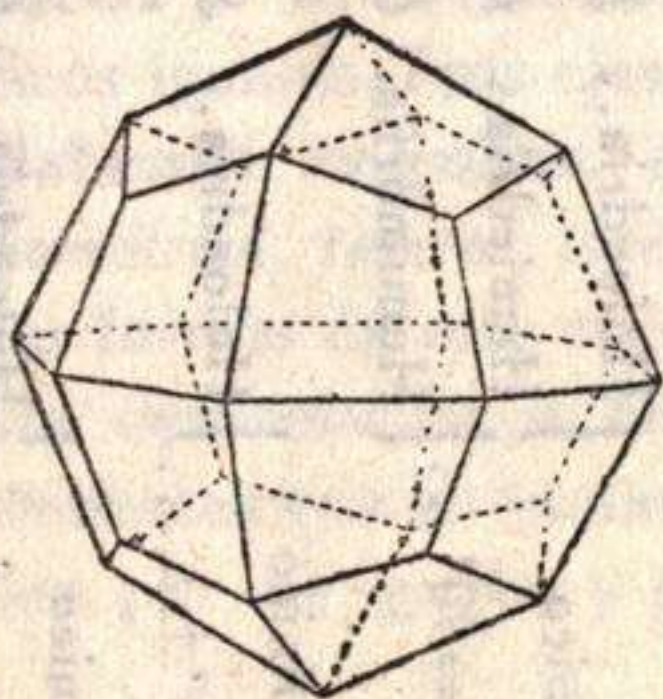


Fig. 19.

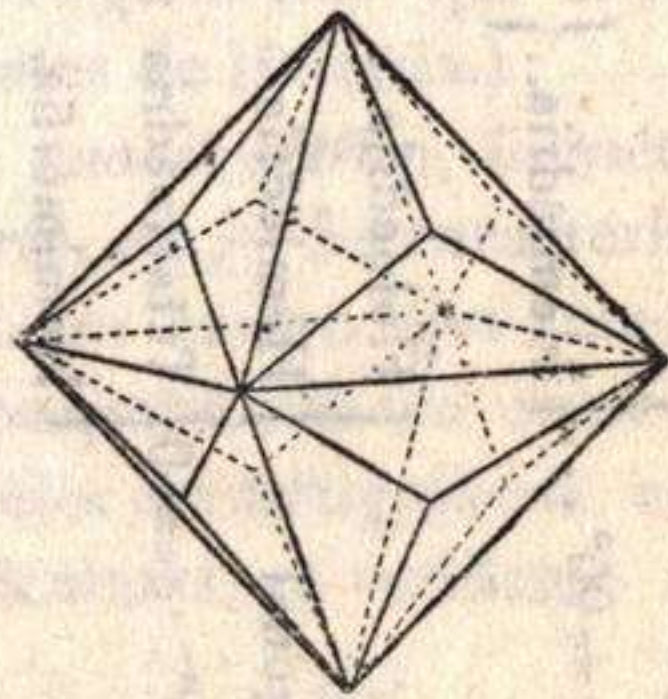


Fig. 20.

de 48 caras triángulos escalenos que cortan a los tres ejes a desigual distancia, (hkl siendo $h > k > l$); el *icositetraedro* o *trapezoedro* (fig. 19) 24 trapezoides simétricos que cortan a

(1) El número de aristas a y de vértices v de estas formas puede deducirse como en todo poliedro siendo c el número de caras y l el de lados de las caras mediante las fórmulas

$$a = \frac{c \times l}{2}, \quad v = a + 2 - c$$

dos ejes a igual distancia y al otro a distancia menor, (hll) ; el *triaquisoctaedro* u *octaedro apiramidado* (fig. 20) 24 triángulos isósceles que cortan a dos ejes a igual distancia y al otro a mayor (hhl) , el *octaedro* (fig. 21), ocho triángulos equiláteros que cortan a los tres a igual distancia, es forma única pues su símbolo $(hhh)=(111)$ es constante y por tanto su ángulo,

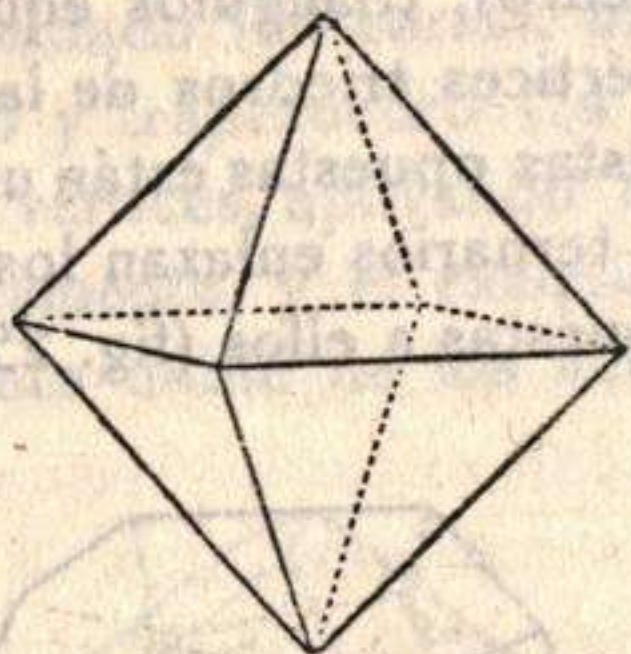


Fig. 21.

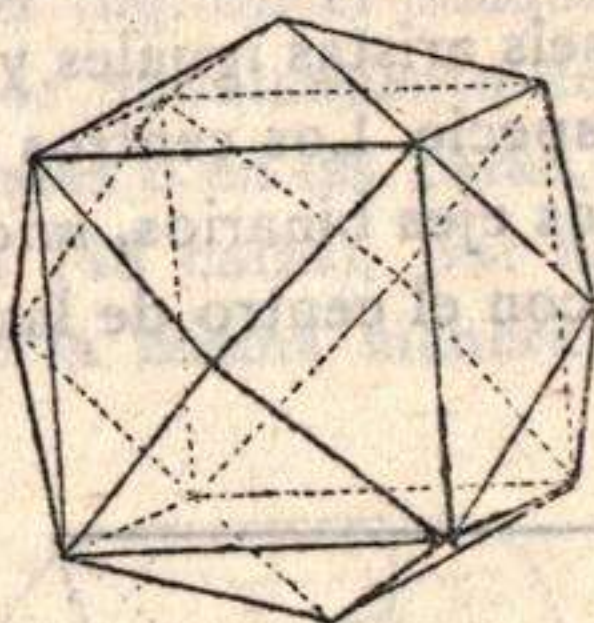


Fig. 22.

($109^{\circ}28'18''$), el *tetraquisexaedro* o *cubo apiramidado* (fig. 22) 24 caras triángulos isósceles que cortan a dos ejes a desigual distancia y son paralelas al tercero (hkl) , el *rombodecaedro* o *dodecaedro romboidal* (fig. 23) 12 caras rombos que

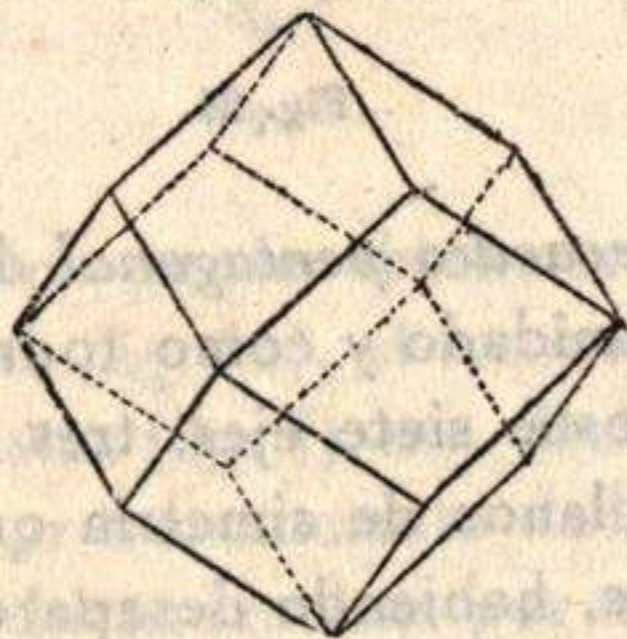


Fig. 23.

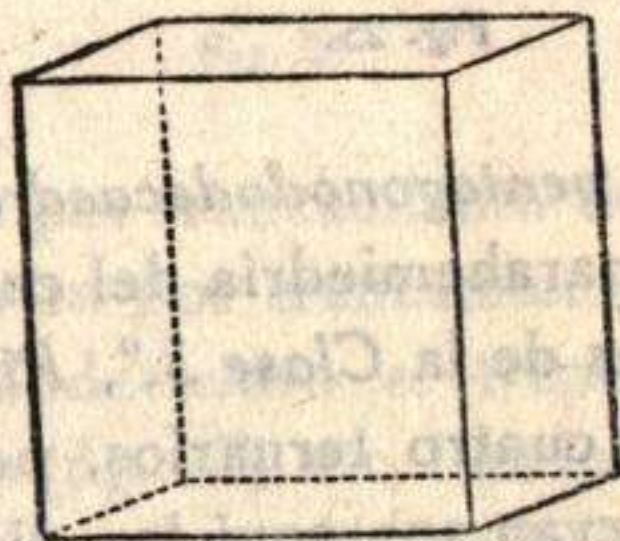


Fig. 24.

cortan a dos ejes a igual distancia, solo existe una forma $(hh0)=(110)$ de ángulo de 120° y el *exaedro* o *cubo* (fig. 24) con cuatro caras cuadrados que cortan solo a un eje, forma constante de símbolo $(h00)=(100)$ con aristas de 90° .

FORMAS MEROÉDRICAS.—El *tetraedro* es el antihemiedro del octaedro, del cual se deriva por supresión alterna de la mitad de sus caras. Como todas las formas de la Clase 2.^a, Es-

falerítica, posee siete ejes de simetría por haber quedado suprimidos en el proceso de la hemiedría los seis binarios y subsistir los tres cuaternarios, pero convertidos en binarios, y los cuatro ternarios todos polares por desaparición del centro de simetría. De los nueve planos sólo quedan seis, por haber desaparecido los diametrales. El tetraedro posee cuatro caras (la mitad que el octaedro), triángulos equiláteros, seis aristas iguales y cuatro vértices triedros de la misma especie. Los centros de las aristas opuestas están unidos por los ejes binarios, mientras los ternarios enlazan los vértices con el centro de las caras opuestas a ellos (fig. 25).

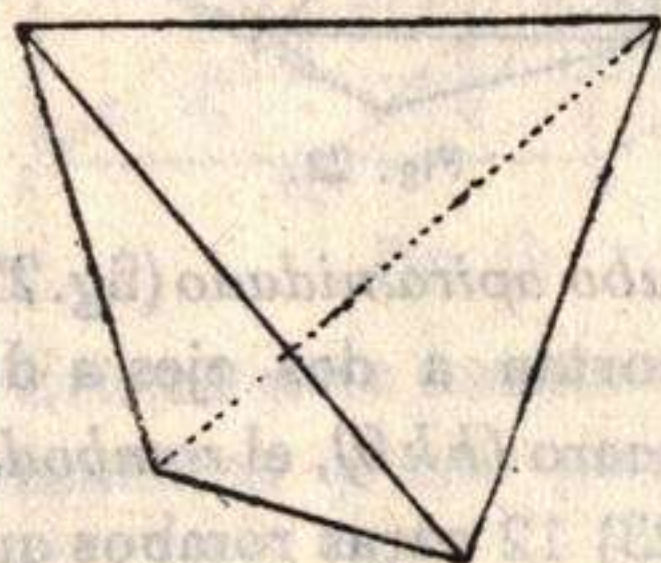


Fig. 25.

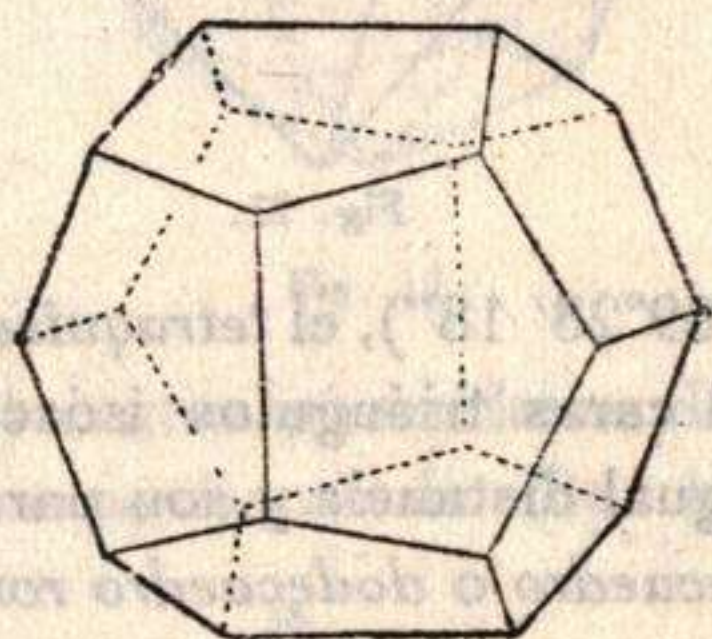


Fig. 26.

El *pentágonododecaedro* o *dodecaedro pentagonal* deriva por parahemiedría del cubo apiramidado y como todas las formas de la *Clase 3.^a*, *Pirítica*, posee siete ejes, tres binarios y cuatro ternarios, pero los planos de simetría que se conservan son aquí los diametrales, habiendo desaparecido los diagonales y subsistiendo en cambio el centro de simetría. Posee 12 caras (la mitad del tetraquisexaedro) pentágonos, 30 aristas de dos especies (seis axiales, a cuyo punto medio van los ejes binarios, y 24 (3 por octante) no paralelas a los ejes binarios) y 20 vértices de dos clases (8 triedros en la terminación de los ejes ternarios, formados por aristas no axiales, y 12, también triedros, formados por una arista axial y dos no axiales) (fig. 26).

FORMAS COMPUESTAS.—Los antiguos mineralogistas, tomando como tipo las formas de símbolo más sencillo, que son más frecuentes, hacían derivar las demás por modificaciones de sus elementos; así, del cubo se obtienen el octaedro (ocho caras), truncando sus ocho vértices (fig. 6); el rombo-dodecaedro (12 caras), truncando sus 12 aristas; el cubo apiramidado (24 caras), biselándolas (fig. 8); el triaquisoctaedro y trapezoedro (24 caras), por apuntamiento de sus ocho vértices, apoyando en las aristas o en las caras, respectivamente, y el exaquisoctaedro (48 caras), por apuntamiento doble de los vértices. De la misma manera, del

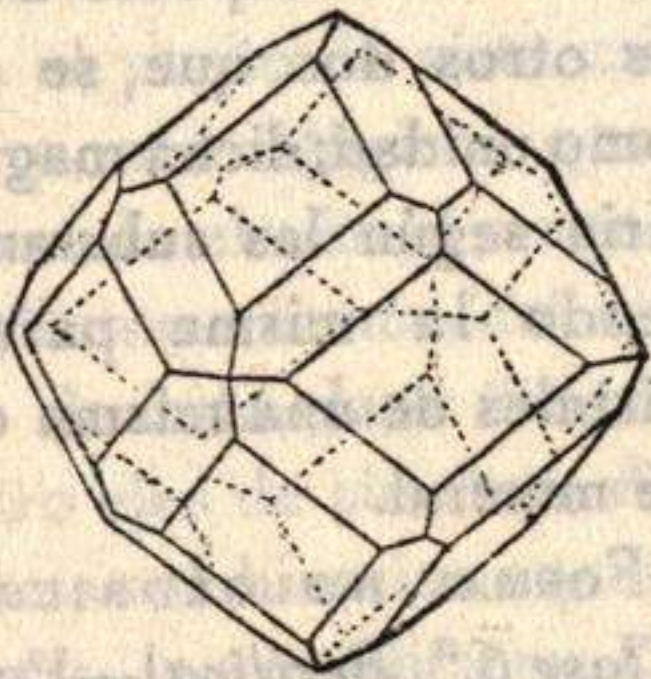


Fig. 27.

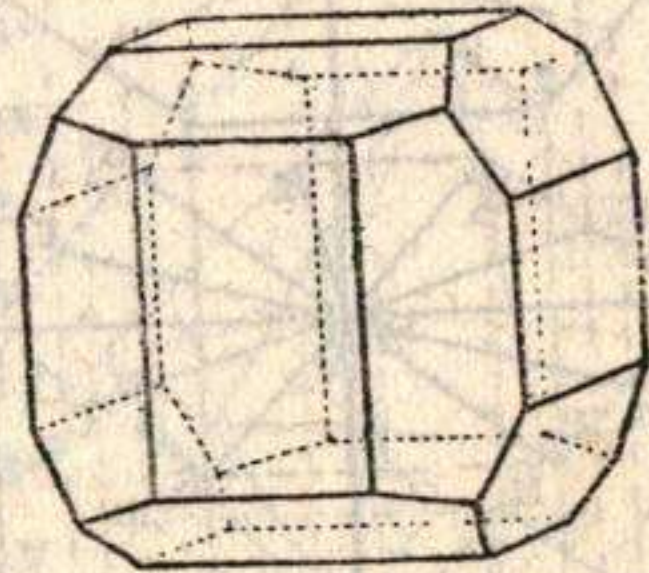
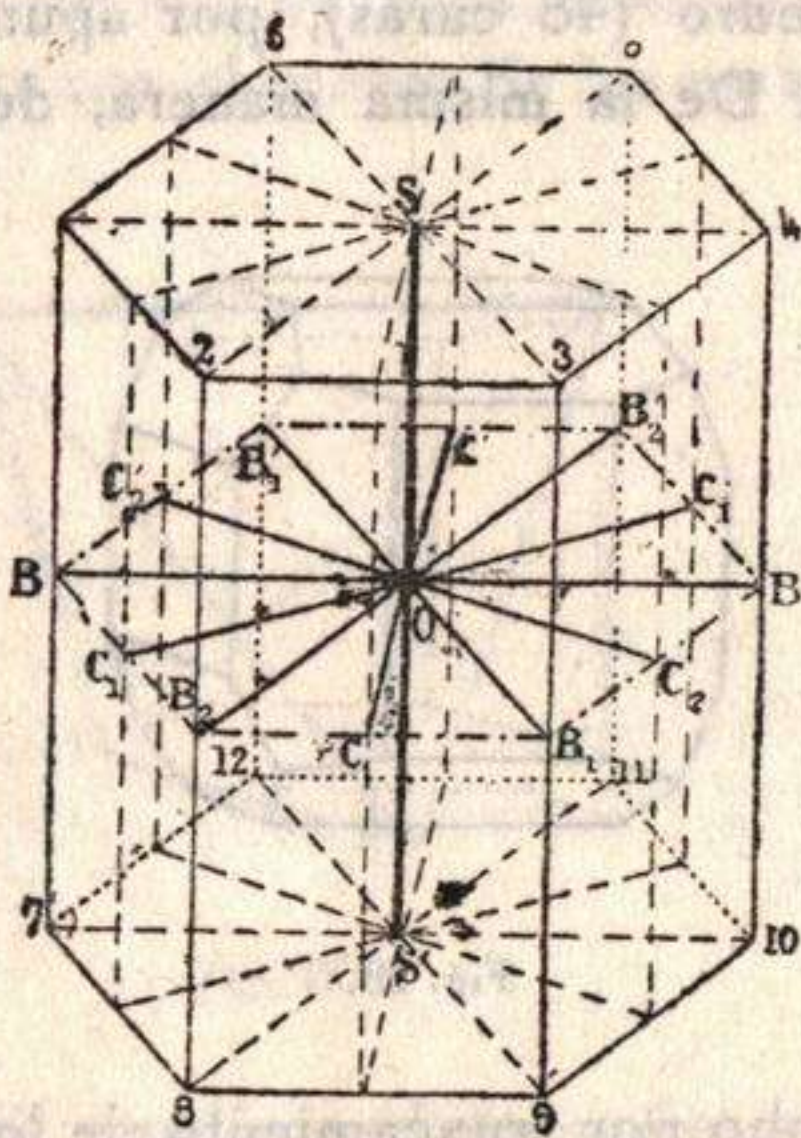


Fig. 28.

octaedro puede obtenerse el cubo por truncamiento de los vértices (fig. 16), el rombododecaedro por truncamiento de las aristas (fig. 7), etc. Del rombododecaedro el trapezoedro, por truncamiento de las aristas (fig. 27), etc. Las formas hemidrícas resultan por modificación alternada de la mitad de los elementos; así, el truncamiento alternado de los vértices (fig. 11) del cubo, da el tetraedro y el semibiselamiento (truncadura asimétrica) (fig. 28) de sus aristas el dodecaedro pentagonal. Este procedimiento es muy instructivo para reconocer las formas cuando son compuestas, como las de las figuras que representan combinaciones frecuentes en la naturaleza de las formas de este sistema que, como todas son cerradas, pueden presentarse aisladas.

GRUPO DIMÉTRICO. — (Dos ejes cristalográficos iguales y el tercero desigual. Un eje principal de simetría.)

Sistema exagonal. — (*Senario, eptasimétrico prismático recto de base exagonal: romboédrico y ternario [en parte].*) — Es característico de las formas de este sistema el tener senario o ternario el eje principal. De los tres ejes cristalográficos, dos son iguales, cortándose oblicuamente bajo un ángulo de 60° , y el tercero desigual y perpendicular a los otros dos. Por tanto, $a = b = 1 \neq c$, $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$,



F.g. 29.

siendo la única incógnita la magnitud relativa del parámetro c con respecto a la de los otros dos que se toma como unidad; dicha magnitud varía según las sustancias, siendo la misma para los cristales de una misma especie mineral.

FORMAS HOLOÉDRICAS. — (*Clase 6.^a, Berilica*) — Poseen siete ejes de simetría, de los cuales seis son binarios y están formando ángulos de 30° en un plano principal de simetría, siendo equivalentes 3 a 3, alternadamente, de forma que dos ejes equivalentes forman un ángulo de 60° . El séptimo, senario y perpendicular a los demás, es el eje principal de simetría y define con los ejes binarios seis planos secundarios de simetría que se cortan en él. Existe centro de simetría (fig. 29).

Como ejes cristalográficos, se eligen el senario, que se coloca vertical, y tres binarios equivalentes, con lo que resultan notaciones de cuatro índices $(h i k l)$, lo cual es poco inconveniente por existir entre los tres primeros la relación $h + i + k = 0$, por lo que puede suprimirse uno de ellos, que

siempre será conocido por ser igual a la suma de los otros dos cambiada de signo ($h. \overline{h+k}. k. l$).

Las formas de esta clase son la *bipirámide exagonal* (figura 30) de 12 triángulos isósceles, 18 aristas (6 ecuatoriales y 6 culminantes en cada hemiforma), 6 vértices ecuatoriales y 2 culminantes en el eje de simetría; el *prisma exagonal* (fig. 34) conjunto de 6 caras y 6 aristas paralelas al eje de simetría y el *pinacoide* o *base* (fig. 34) ($000l$) forma como la anterior abierta con solo 2 caras paralelas al plano principal de simetría. (1).

FORMAS MEROEDRICAS.—A los hemiedros exagonales corresponden las formas de la *Clase 8.^a, Calcítica*, tan importante bajo el punto de vista cristalográfico y mineralógico, que muchos autores la elevan al rango de sistema (*Sistema romboédrico*). Las formas de esta clase tienen (fig. 31) cuatro ejes de simetría, de los cuales tres son binarios equivalentes, y el otro, perpendicular a ellos, es ternario y constituye un eje principal de simetría que define con los anteriores tres planos de simetría.

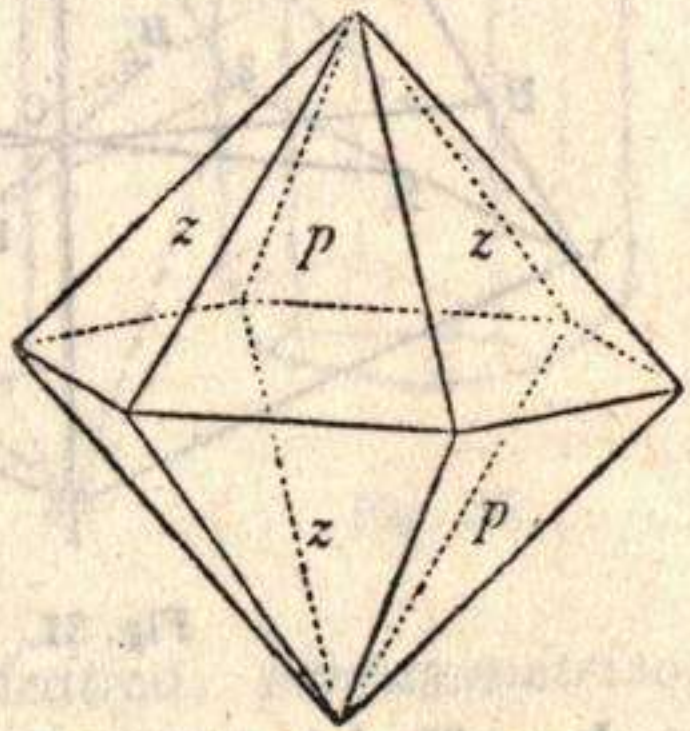


Fig. 30.

Han desaparecido en el proceso de la hemiedría uno de los sistemas de tres ejes binarios equivalentes y sus tres planos correspondientes, y se ha reducido a tres el eje de orden 6. Pertenecen a esta clase el *escalenoedro* (fig. 32), que deriva por hemiedría de la bipirámide diexagonal, teniendo por tanto 12 caras que son triángulos escalenos, 18 aristas (seis ecuatoriales en zig-zag y 12 culminantes, seis en cada hemi-

(1) Existe además la *bipirámide diexagonal* con 24 caras y otras tantas aristas culminantes alternativamente iguales y el *prisma diexagonal*. Además existen dos clases de bipirámide y prisma exagonal geoméricamente idénticas pero que difieren según que su sección exágona tenga los lados paralelos a un eje binario cristalográfico *protopirámide* ($h\ 0\ \overline{h}\ l$) y *protoprisma* ($h\ 0\ \overline{h}\ 0$) o a uno de los no cristalográficos *deutopirámide* ($h\ 2\ \overline{h}\ h\ l$) y *deutoprisma* ($h\ 2\ \overline{h}\ h\ 0$).

forma, alternativamente iguales y desiguales) y ocho vértices (seis ecuatoriales, tetraedros de dos clases, que no están en un plano y dos exaedros culminantes), y el *romboedro* (figura 31) una de las formas cristalinas más abundantes en la naturaleza, que deriva de la pirámide exagonal y posee los mismos elementos geométricos que el cubo: seis caras rombos, 12 aristas de dos especies (tres culminantes en cada hemiforma y seis ecuatoriales en zig-zag, a cuyo punto medio

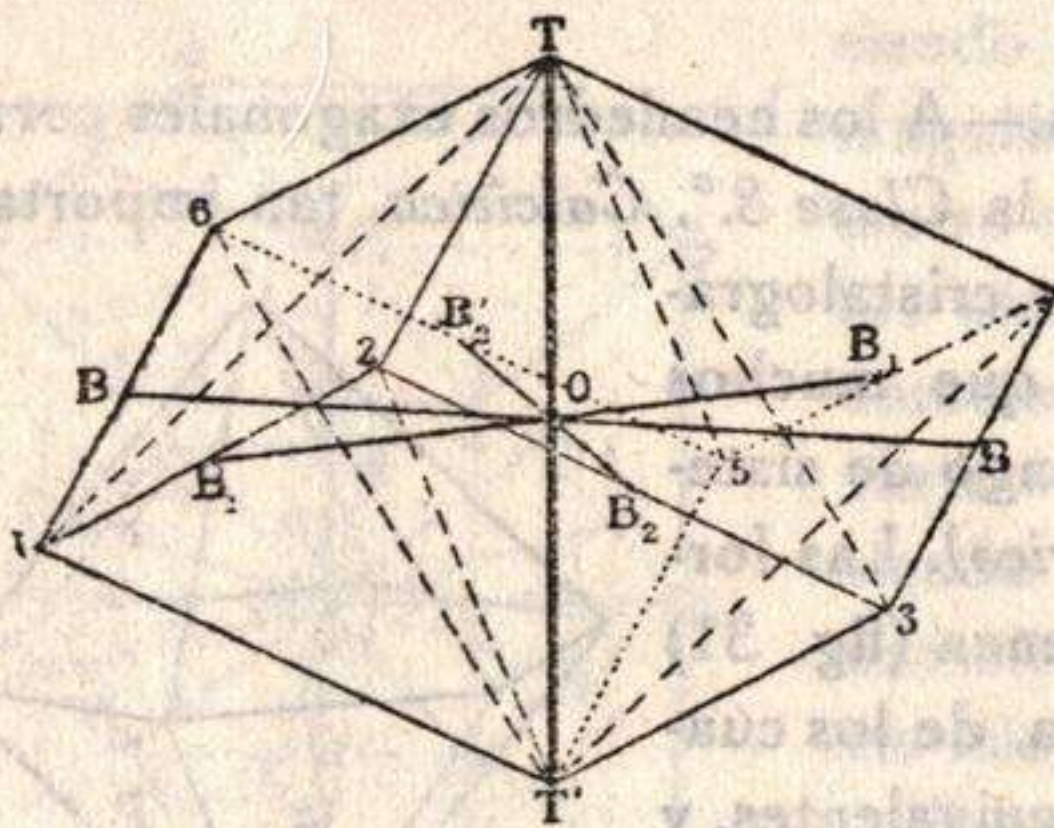


Fig. 31.

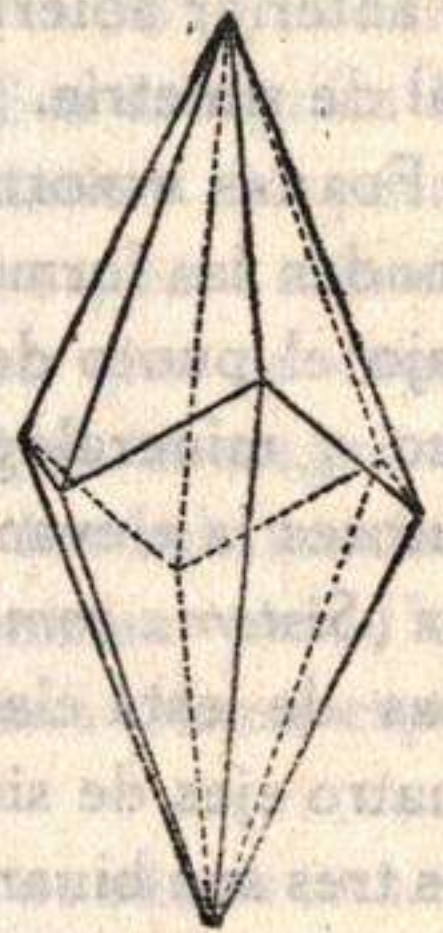


Fig. 32.

van los ejes binarios) y ocho vértices triedros, seis ecuatoriales, con ángulos planos, agudos y obtusos, y dos ecuatoriales en los extremos del eje ternario, con tres ángulos agudos (*romboedro agudo*) o los tres obtusos (*romboedro obtuso*).

La *Clase 12, Cuarzítica*, y la *Clase 17, Turmalínica* tienen también interés mineralógico.

FORMAS COMPUESTAS.—Las combinaciones representadas en las figuras adjuntas son comunes en la naturaleza. Solamente las pirámides, el romboedro y el escalenoedro son formas cerradas, y pueden, por esto, presentarse solas; las abiertas siempre se ofrecen en combinación, presentándose generalmente los prismas limitados por la pirámide (fig. 33) el pinacoide (fig. 34) o el romboedro (fig. 35). Las pirámides se pueden derivar de los prismas por truncadura de las aris-

tas básicas (fig. 9), y los prismas de las pirámides por truncadura de las ecuatoriales. Las formas diexagonales resultan de biselar las aristas culminantes o las verticales de las exagonales. El pinacoide básico procede de truncadura de los vértices culminantes de las pirámides; el romboedro, del truncamiento alternado de las aristas básicas del prisma exagonal, etcétera, etc. La asociación de los dos romboedros reproduce la pirámide exagonal (fig. 30). Los cristales hemimórficos exagonales, no son raros.

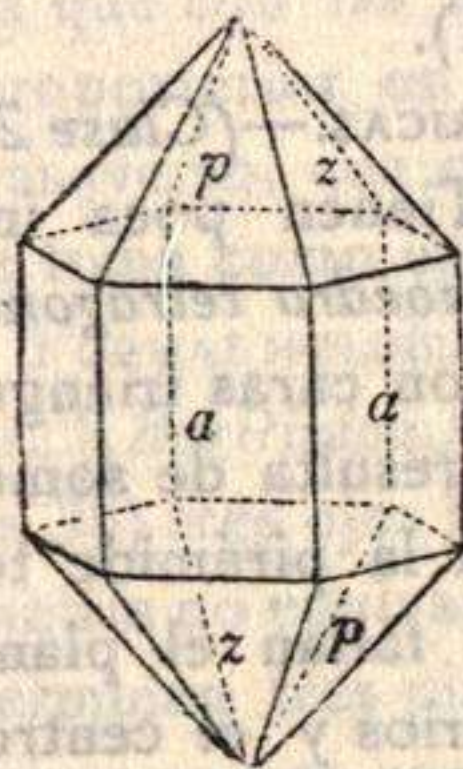


Fig. 33.

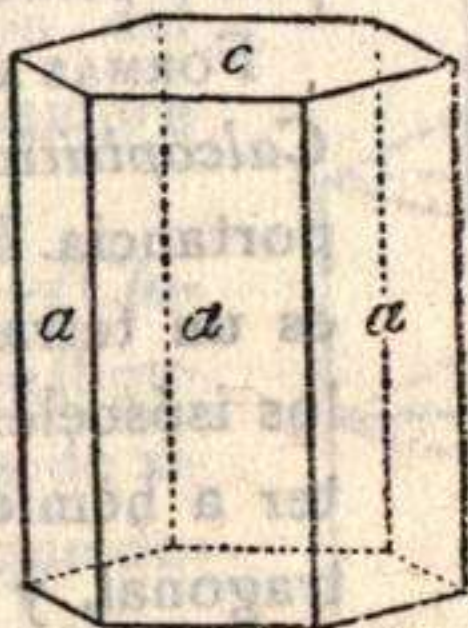


Fig. 34.

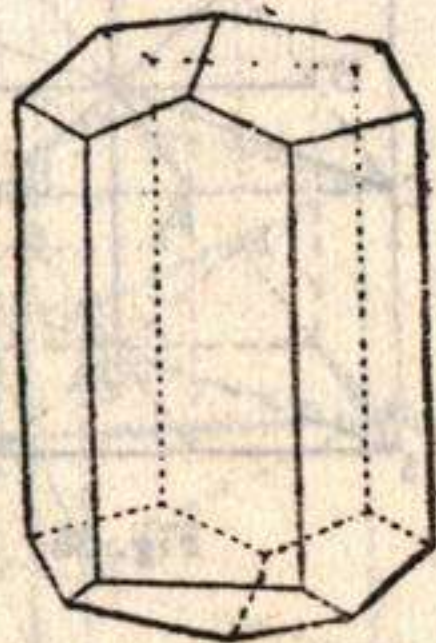


Fig. 35

Sistema tetragonal. — (*Cuadrático, pentasimétrico, cuaternario, prismático recto de base cuadrada.*) — Caracteriza a las formas tetragonales la naturaleza cuaternaria o binaria de su eje principal. Los tres ejes cristalográficos son perpendiculares y dos de ellos iguales; por verificarse que

$$a = b = 1 \pm c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ,$$

siendo la única incógnita la magnitud relativa c , que varía de unas sustancias a otras.

FORMAS HOLOÉDRICAS. — *Clase 18. Zircónica.* — Poseen (fig. 36) cinco ejes, cinco planos y centro de simetría; cuatro ejes son binarios y equivalentes 2 a 2, estando en un plano que es el principal de simetría, formando ángulos de 45 y de 90° entre dos equivalentes. Perpendicularmente a este plano hay un eje cuaternario, que es el principal, y en el

que se cortan los cuatro planos secundarios de simetría. Como cristalográficos se eligen dos equivalentes y el principal, que se coloca verticalmente.

La bipirámide tetragonal es un octaedro de caras triangulares isósceles con los dos vértices desiguales en el eje cuaternario, el prisma tetragonal es una forma abierta con 4 caras y aristas paralelas al eje principal y el pinacoide o base de 2 caras paralelas al plano principal (1).

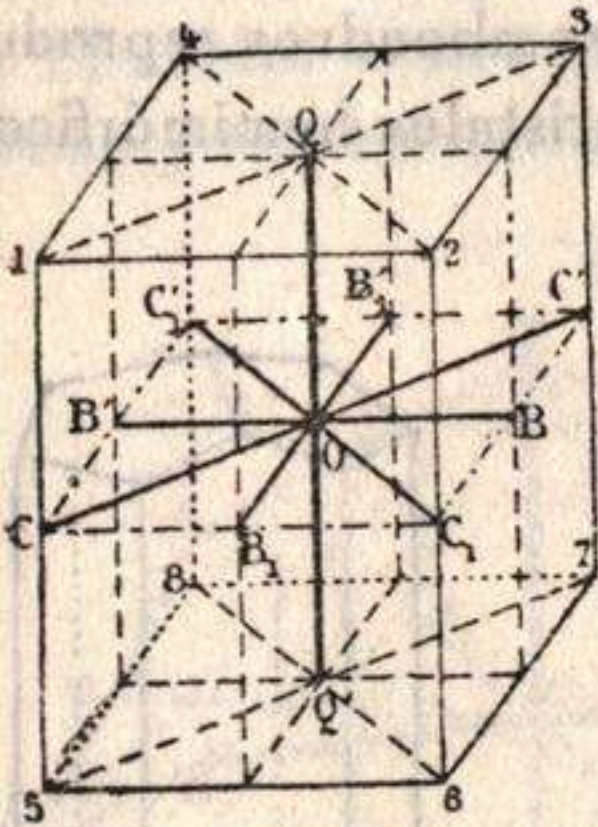


Fig. 36.

FORMAS MEROÉDRICAS.—(Clase 21, Calcopiritica.)—Tienen poca importancia. El *esfenoedro tetragonal* es un tetraedro con caras triangulares isósceles que resulta de someter a hemiedría a la pirámide tetragonal, y en él faltan el plano

principal, dos secundarios, dos ejes binarios y el centro, subsistiendo dos planos secundarios, dos ejes binarios y el cuaternario, reducido a binario no equivalente con los otros.

FORMAS COMPUESTAS.—La figura 37 representa una combinación de formas de este sistema. No siendo cerradas más que las pirámides y el esfenoedro, sólo estas formas pueden presentarse aisladas, siendo comunes las combinaciones de los prismas con las pirámides o los pinacoides. La derivación de unas formas de otras se hace de una manera análoga que en el anterior sistema.

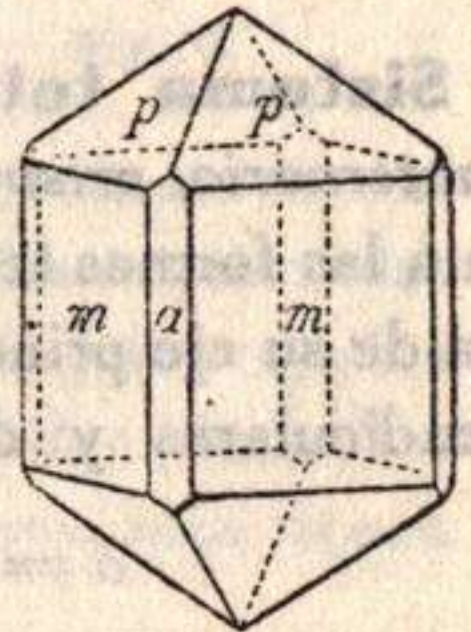


Fig. 37.

(1) Análogamente al anterior sistema existen otras dos formas la bipirámide ditetragonal o pirámide octógona (hkl) y el prisma ditetragonal u octógono (hko) y protoformas (hhl) y (hho) que difieren de las deutoformas (hol) y (hoo) en que su sección cuadrada sea paralela a los binarios cristalográficos o estos la corten según las diagonales.

GRUPO TRIMÉTRICO.—Los tres ejes cristalográficos desiguales. Ningún eje principal de simetría.

Sistema rómbico.—(*Ortorrómbico, terbinario, trisimétrico, prismático de base rectangular y rombale.*)—Las formas de este sistema se reconocen por sus tres ejes binarios, y que se toman como cristalográficos, siendo perpendiculares y desiguales, verificándose que $a \pm b = 1 \pm c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$, habiendo dos incógnitas para los cristales de cada sustancia que son las magnitudes a y c de los ejes vertical y anteroposterior en función del transverso, que como siempre se toma como unidad.

FORMAS HOLOÉDRICAS.—(*Clase 25, Baritínica.*)—Tiene (figura 38) tres ejes binarios de simetría no equivalentes que determinan tres planos de simetría y que se cortan en el centro de simetría. Estos tres ejes se toman como cristalográficos y se orientan generalmente las formas de modo que de los dos horizontales el mayor quede como transverso, denominándose *macroeje* y el menor *braquieje* como anteroposterior.

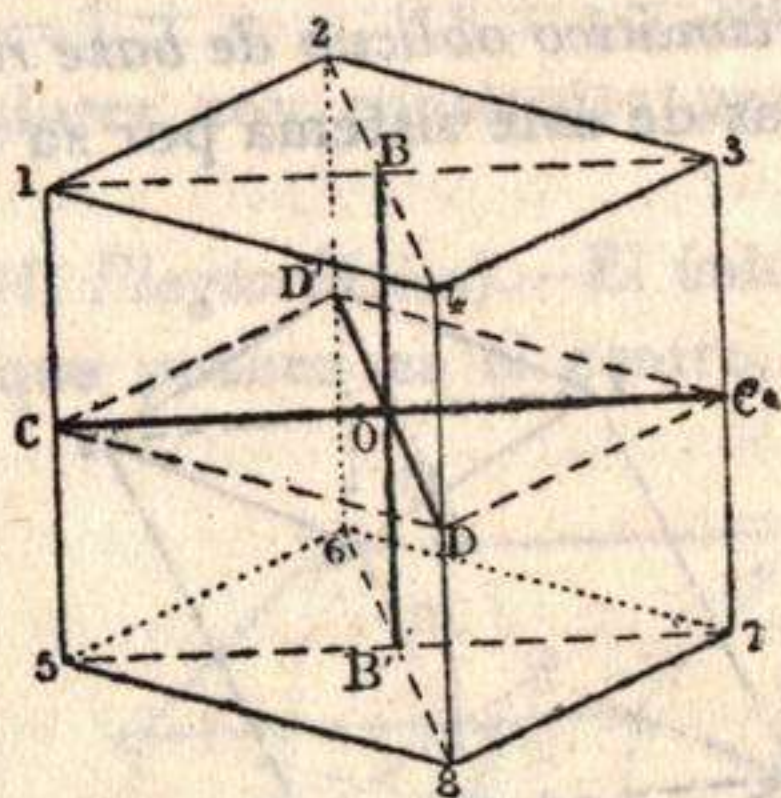


Fig. 38.

La pirámide rómbica (hkl) es un octaedro de caras triángulos escalenos con 3 clases de aristas y vértices, los prismas rómbicos tienen la sección rombale y 4 caras y aristas paralelas al eje vertical en el prisma vertical (hko) al macroeje en el macrodomo (hol) o al braquieje en el braquidomo (okl): los pinacoides consisten en 2 caras paralelas al plano horizontal, base (ool) al frontal, braquipinacoide (oko) o al anteroposterior, macropinacoide (hoo).

FORMAS MEROÉDRICAS. (*Clase 26, Epsomítica.*)—Sometiendo la pirámide a la hemiedría se obtiene el *esfenoedro rómbico* que es un tetraedro con caras triángulos escalenos que con-

serva los tres ejes binarios, pero sin planos ni centro de simetría. Cristales hemimórficos de este sistema (*Clase 27, Calamínica*) los ofrece también la naturaleza.

FORMAS COMPUESTAS.—Sólo la pirámide y el esfenoedro son formas cerradas; todas las demás son abiertas, y por esto rara vez los cristales de este sistema son simples. De la pirámide derivan los prismas por truncamiento de aristas y los pinacoides por truncamiento de vértices.

Sistema monoclinico. (*Monosimétrico, clinorómbico, prismático oblicuo de base romboidal*).—Se caracterizan las formas de este sistema por su único eje, que es de simetría bi-

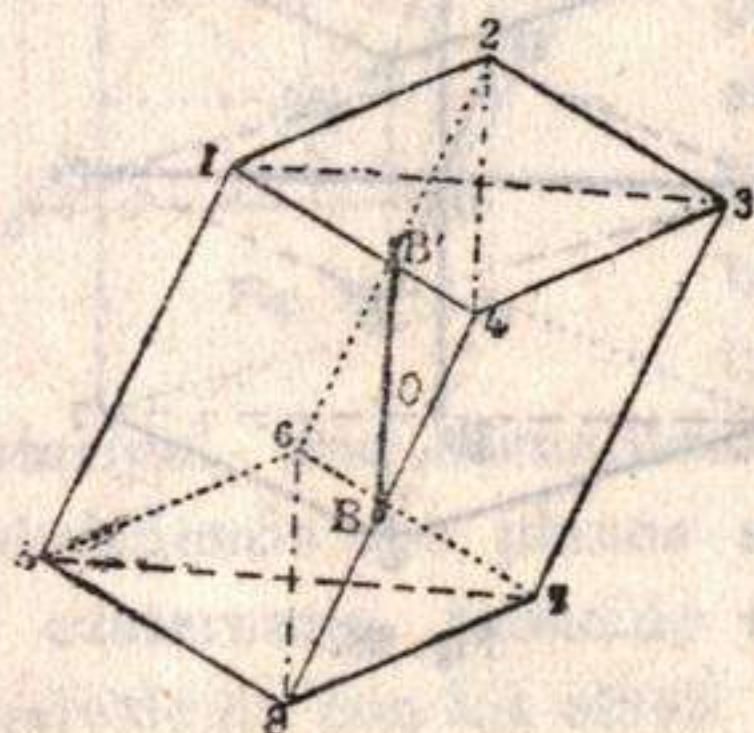


Fig. 39.

naria. Los tres ejes cristalográficos son desiguales y dos oblicuos entre sí y perpendiculares al tercero, por lo que $a \pm b = 1 \pm c$, $\alpha = \beta = 90^\circ \pm \gamma$, habiendo por tanto tres incógnitas a , c y β para los cristales de cada sustancia.

FORMAS HOLOÉDRICAS.—(*Clase 28, Selenítica*).—Poseen (figura 39) centro de simetría, un eje

binario y un plano de simetría perpendicular a él. Como cristalográficos se toman el eje de simetría que se orienta transversalmente y se domina *ortoeje* por ser perpendicular a los otros dos situados en el plano de simetría paralelos a dos aristas existentes o posibles en el cristal y que se cortan bajo un ángulo β característico de cada sustancia. De éstos, el ánteroposterior se llama *clinoeje* y el otro vertical.

Las formas son análogas a las del sistema anterior pero la pirámide tiene solo 4 caras (hemipirámide) por lo que hacen falta 2 para constituir una completa y el ortodomo ($h o l$) tiene solamente 2 caras paralelas al ortoeje; los pinacoides base ($o o l$) ortopinacoide ($o k o$) y clinopinacoide ($h o o$) poseen 2 caras.

FORMAS MEROÉDRICAS.—Ni la hemimorfía ni la hemiedría tienen en este sistema interés mineralógico.

FORMAS COMPUESTAS.—Como todas las formas de este sistema son abiertas y no pueden constituir solas cristales simples; todos los pertenecientes a este sistema son compuestos.

Sistema triclinico.—(*Asimétrico, anórtico, insimétrico, prismático oblicuo de base romboidal y paralelogramica.*)—Es característico de sus formas el no tener ejes de simetría. Los tres ejes cristalográficos son desiguales y oblicuos, por lo que $a \neq b \neq c$, $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$, habiendo 5 incógnitas cuyos valores son constantes para cristales de la misma substancia.

FORMAS HOLOÉDRICAS. (*Clase 31, Plagioclásica.*)—El único elemento de simetría (fig. 40) que poseen es el centro, y por esto todas están formadas por dos caras paralelas. Ninguno de los ejes cristalográficos lo son, por tanto, de simetría y se eligen paralelos a tres aristas existentes o posibles y reciben las mismas denominaciones que el sistema rómbico.

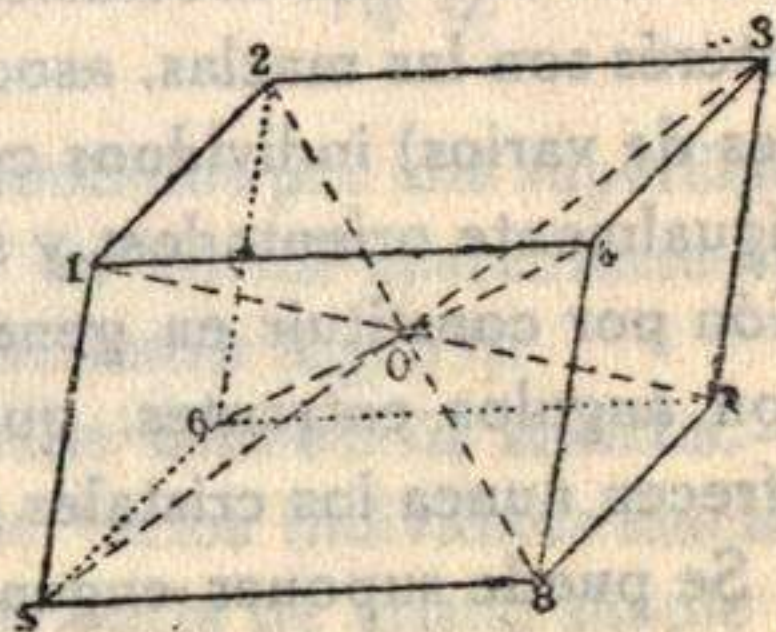


Fig. 40.

Las formas son pirámide triclinica (hkl), prisma vertical (hko), macrodomo (hol), braquidomo (okl), base (ool), macropinacoide (hoo) y braquipinacoide (oko).

FORMAS MEROÉDRICAS.—Las formas hemiédricas de este sistema, completamente asimétricas por desaparición del centro y formadas por una sola cara, no tienen interés mineralógico.

FORMAS COMPUESTAS.—Todos los cristales triclinicos son combinaciones de formas simples por ser todas éstas abiertas.

Asociaciones de cristales.—Hasta ahora sólo nos habíamos ocupado de cristales simples, mas en la naturale-

za es frecuente que se encuentren asociados regular o irregularmente cristales de la misma o distinta naturaleza. Cristales de la misma substancia se encuentran frecuentemente implantados unos en otros, constituyendo los *grupos*, o sobre una base amorfa de la misma naturaleza que los cristales, constituyendo las *drusas* cuando la base es plana, y las *geodas* si forma una cavidad que tapizan los cristales.

En las asociaciones regulares el caso más sencillo es aquel en que los individuos están igualmente orientados, teniendo por tanto paralelos todos sus elementos, por lo que se denominan *asociaciones paralelas*; así en el cuarzo frecuentemente un conjunto de cristales exagonales en agrupación paralela forma a su vez un gran cristal.

Maclas—Las asociaciones cristalinas que ofrecen mayor interés son las maclas, asociaciones regulares de dos (a veces de varios) individuos cristalinos de la misma especie, desigualmente orientados; y se reconocen a la simple inspección por constituir en general poliedros cóncavos, es decir con ángulos entrantes, que como sabemos (pág. 17), no ofrecen nunca los cristales simples.

Se puede suponer engendradas las maclas suponiendo a los dos individuos en coincidencia e imprimiendo a uno de ellos un giro de 180° (*hemitropía*), 120° , 90° o 60° (*transposición*) alrededor de una recta que se llama *eje de macla* que se dice es respectivamente binario, ternario, cuaternario o senario, y el plano perpendicular a este eje se llama *plano de macla* y es muy frecuentemente un plano de simetría de ella. Los dos individuos maclados tienen siempre común o paralela una cara existente o posible, que se llama *cara de combinación* y que puede coincidir con el plano de macla (*maclas normales*). Cuando los individuos de la macla, aunque orientados diferentemente, tienen sus ejes coincidiendo, forman las *maclas de complemento*, exclusivas de los cristales hemiédricos.

Se distinguen tres clases de maclas: las de *contacto*, (fig. 41) en que los individuos están adosados de manera que tienen una cara común; de *compenetración* (fig. 42), en que la superficie limitante los individuos no es plana, y de *intru-*

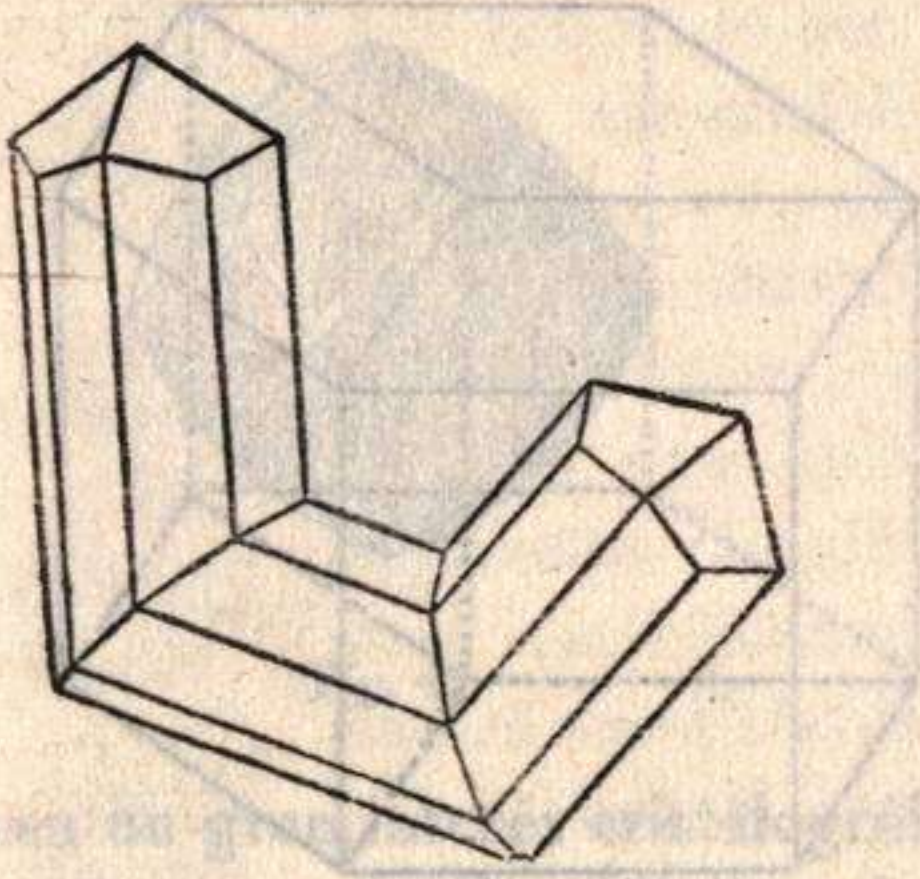


Fig. 41.

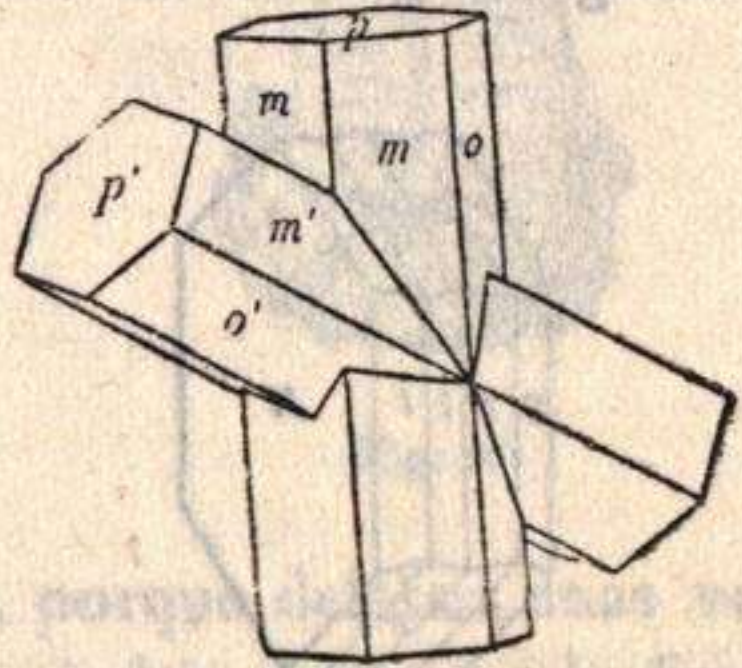


Fig. 42.

sión, en que los individuos están limitados por una superficie irregular un moldeados formando un cristal aparentemente simple y por tanto sin ángulos entrantes (fig. 59).

Mimesía o pseudosimetría: Simetría límite.— Es frecuente que la asociación de varios individuos maclados origine a un conjunto con apariencia de cristal simple y de simetría superior a la que tienen sus individuos, lo que ha hecho asignar a muchos minerales un sistema cristalino más simétrico que el que realmente tienen. Así, la hemitropía múltiple de muchos cristales triclinicos (fig. 43), que alternativamente están o no, igualmente orientados, produce un conjunto de cristal monoclinico, especialmente si la delgadez de los individuos maclados hace imposible discernirles a simple vista, traduciéndose todo lo más por finas estrías. Los caracteres físicos permiten delatar la verdadera simetría.

Las formas cristalinas de un mineral pueden ofrecer ángulos próximos a las de otro sistema; así, un romboedro con ángulos vecinos de 90° puede parecer un cubo, un cristal

monoclínico con los ejes del plano ánteroposterior poco oblicuos puede parecer rómbico, tres prismas rómbicos (figura 44) con ángulos vecinos a 120° pueden asociarse simulando un prisma exagonal. La combinación de bipirámide y protopirámide tetragonal parece un tra-

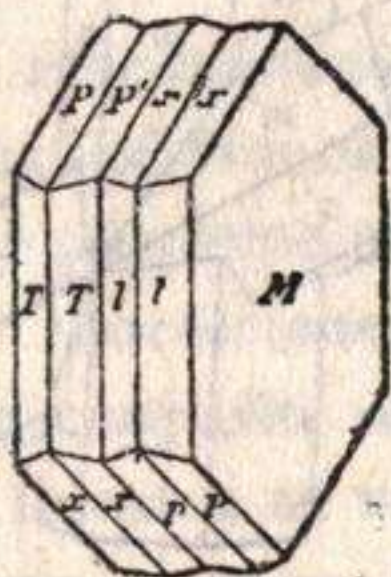


Fig. 43.

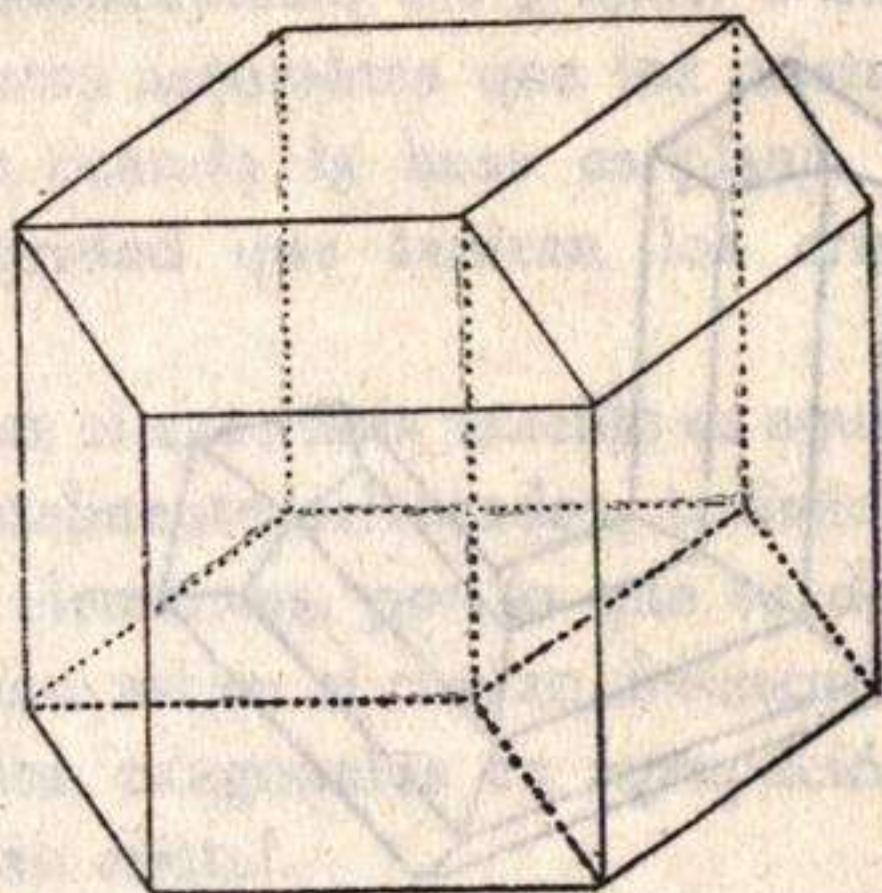


Fig. 44.

pezoedro regular, etcétera. Se dice que estos cristales se aproximan a una simetría límite de otro sistema.

Pseudomorfofosis.—También puede conducir a erróneas apreciaciones sobre el sistema cristalino de un mineral la existencia de formas prestadas, es decir, de minerales que ofrecen formas cristalinas que corresponden a otro mineral, lo que se conoce con el nombre de pseudomorfofosis. Unas veces esto es debido a que el mineral ha rellenado un cristal negativo, es decir, un hueco geométrico, en el cual ha habido un cristal y que desapareció por disolución; otras, a que la materia del mineral ha reemplazado molécula a molécula la del otro, conservando por esto su forma; pero lo más general es que el primitivo mineral haya dado por alteración el segundo, y en este caso tiene que existir relación entre la composición del mineral que presenta la forma y la del anterior a quien es debida.

Anomalías de los cristales.—Las principales son las siguientes: 1.^a *El encurvamiento de las aristas que ofre-*

cen algunos cristales, presentando un aspecto abombado (fig. 45), o torcido o arqueado (fig. 46). 2.^a Presencia de *estrias* paralelas a determinadas zonas (fig. 47), que ofre-

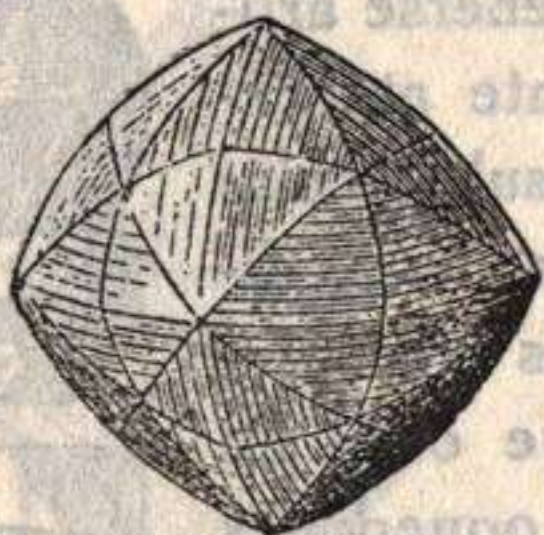


Fig. 45.



Fig. 46.

cen un gran interés cristalográfico, porque delatan unas veces la mimesia (fig. 43) otras la hemiedria, como en la figura 48, que representa un cubo octaedro en que las caras de esta forma son alternativamente estriadas y rugosas, lo que nos demuestra que en realidad se trata de una combinación



Fig. 47.

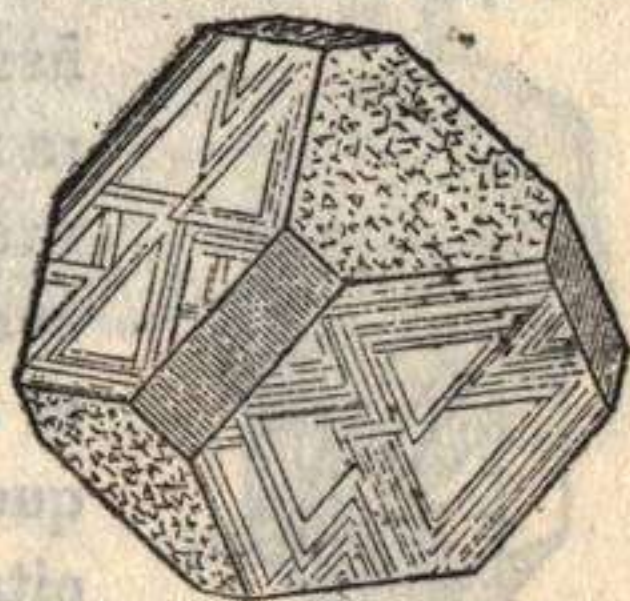


Fig. 48.

de cubo con los dos tetraedros positivo y negativo. Este dato es interesante, pues por consideraciones geométricas no hay posibilidad de distinguir un holoedro de sus meriedros combinados, los cuales reproducen su forma, pero cuyas

caras ofrecen, sin embargo, diferencias como la que hemos señalado. 3.^a Presencia de cavidades geométricas llamadas *crisales negativos*, o en virtud de su origen *figuras de corrosión*, las cuales pueden obtenerse artificialmente atacando a las sustancias cristalinas con disolventes apropiados que originan dichas oquedades geométricas, cuya simetría es la misma que la de la sustancia, por lo que constituye un medio de determinación de su sistema cristalino, aun sin poseer formas cristalinas de ella, así como para delatar las combinaciones meroédricas que simulan un holocedro. Otras veces las oquedades constituyen excavaciones escalonadas de las caras que se denominan *tolvas* (fig. 49). 4.^a No es raro que los cristales ofrezcan sustancias extrañas dispuestas regular (figura 50) o irregularmente (figura 51), denominadas *inclusiones*; al primer caso pertenece el cristal de la figura 52, en que la interposición de laminas de otro mineral paralelamente a sus caras permite su división en pirámides encajadas unas en otras.

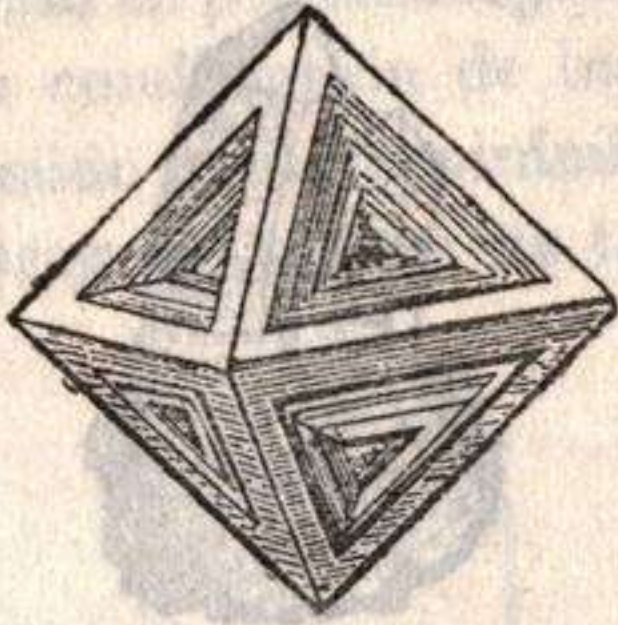


Fig. 49.

Fig. 50. A vertical column of ten small, irregularly shaped crystal fragments, each showing a different geometric cross-section or inclusion pattern, illustrating 'inclusiones'.



Fig. 51.

Fig. 50.

Muy frecuentemente estas inclusiones sólo se perciben con el microscopio y pueden ser sólidas, líquidas, gaseosas y aun mixtas, como la inclusión de anhídrido carbónico líquido de

la figura 53, que ofrece una burbuja de gas y un cubito de sal. Las inclusiones sólidas pueden ser de cristales primitivamente formados que ha englobado el cristal incluyente, a



Fig. 52.

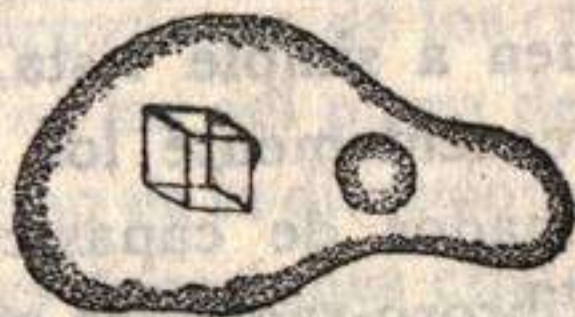


Fig. 53

veces mal conformados y reducidos a finos bastoncitos llamados *crystalitos*, muy frecuentemente distribuidos con regularidad (fig. 54). 4.^a No es raro, por último, que el cristal no sea homogéneo, sino que se muestre consti-

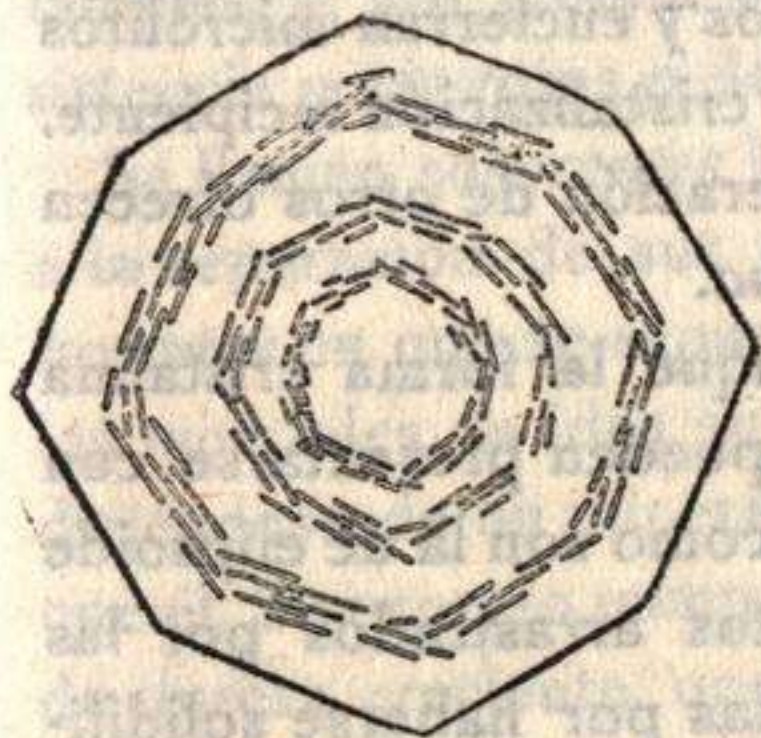


Fig. 54

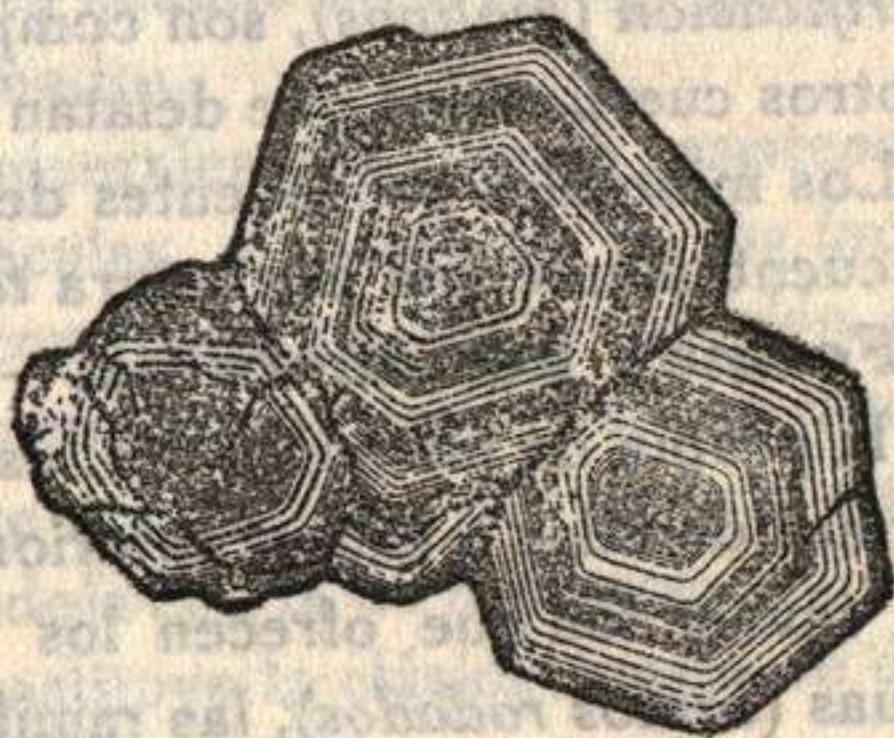


Fig. 55

tuido de capas concéntricas, diciéndose entonces que tiene *estructura zonar* (fig. 55).

Estructura.—Los cuerpos cristalinos ofrecen una textura en relación con su modo peculiar de cristalización; así, cuando los elementos cristalinos que lo forman son isométricos la estructura se dice *granuda*, distinguiéndose en ella

la microgranuda, granudo-cristalina, escamosa, sacaroidea, nombres que no exigen explicación; si los cristales son alargados, la estructura es *fibrosa*, de la cual la columnar, bacilar, acicular, sedosa, capilar, fibroso-radiante, no son más que variedades; y si por último, en los cristales predominan dos dimensiones, la estructura es *laminar*, pudiendo ser hojosa, lamelar, escamosa, tabular, etc. Cuando los elementos no se distinguen a simple vista, la estructura se dice *compacta*. Muy frecuentemente los minerales no cristalizados aparecen formados de capas curvas concéntricas, a veces con estrías fibroso-radiantes que indican un indicio de cristalización, estructura llamada *concrecionada*, que forma a veces pequeñas bolas, denominándose *gutular*, *pisolítica* u *oolítica* según que no sean independientes o se presenten separadas con tamaño de guisantes o huevos de peces. Los cuerpos amorfos formados por desecación (*porodinos*) ofrecen generalmente esta estructura concrecionada o gutular, mientras los originados por solidificación sin cristalización, o sea por *vitricación* (*hialinos*), son compactos y encierran microlitos y otros cuerpecillos que delatan una cristalización incipiente.

Los minerales procedentes de alteración de otros ofrecen frecuentemente una estructura *terrosa*.

Formas accidentales.—Aunque la forma cristalina es la propia de los minerales. éstos pueden presentarse con formas debidas a causas exteriores, como son la de elipsoide de revolución que ofrecen los cantos arrastrados por las aguas (*cantos rodados*), las ramificadas por haberse solidificado en los intersticios de la roca y muy frecuentemente tomadas por los principiantes por plantas fósiles (formas coraloideas, dendríticas, musgosas, arborescentes, etc.), las que recuerdan serés orgánicos porque de ellos tomaron la forma, llamadas *fosilizaciones*, las que tienen aspecto agrietado, alveolar o cavernoso, etc., etc.

Cristalografía física.

Caracteres físicos.—Los caracteres físicos escalares son constantes para cualquier fragmento del cristal, lo que prueba la homogeneidad de la materia cristalina. Pero los vectoriales varían en general con la dirección cuando se aprecian en los cristales. Las propiedades vectoriales continuas son invariables en todas las direcciones de los cristales monométricos y en los dimétricos en las del plano de simetría, teniendo un máximo o un mínimo en la dirección del eje principal, siendo distintas en las tres direcciones cristalográficas de los cristales trimétricos.

Caracteres mecánicos.—Atendiendo a la manera de comportarse los minerales cuando se les deforma o golpea, se dice que son *elásticos* si recobran su forma y dimensiones propias, *frágiles* cuando se rompen fácilmente, *flexibles* cuando no se rompen pero se deíorman, *dúctiles* si se dejan estirar en hilos, *maleables* cuando permiten ser aplastados en láminas, y, por último, *tenaces* cuando ofrecen una gran resistencia a ser rotos o deformados.

Se llaman *coherentes* los minerales que oponen resistencia a la separación de sus moléculas, al contrario de los *incoherentes* en que se separan con facilidad. De la *cohesión* de los minerales da idea su *dureza* o resistencia a dejarse rayar, diciéndose de un mineral que raya u otro, que es más duro que él. Se expresa comparándola con la de una serie de tipos de dureza creciente que constituye la clásica escala de dureza de Mohs:

- | | |
|---------------|-----------------|
| 1.º Talco. | 6.º Feldespato. |
| 2.º Yeso. | 7.º Cuarzo. |
| 3.º Calcita. | 8.º Topacio. |
| 4.º Fluorita. | 9.º Corindon. |
| 5.º Apatito. | 10.º Diamante. |

Por último, se denomina *fractura* a la manera especial de romperse los minerales, lo cual está en relación con su es-

estructura y dureza, diciéndose, según los casos, que es *concoidea* (minerales muy duros), ganchuda, plana, astillosa, etc.

La fractura no se verifica con igual facilidad en todas las direcciones, sino que con frecuencia existen en los cristales planos, según los cuales la fractura es muy fácil, lo que hace que se rompan según direcciones planas que no son más que caras cristalinas, propiedad importantísima conocida con el nombre de *exfoliación* o *crucero*. Cuando existen tres planos por lo menos de exfoliación, el mineral al romperse dá siempre una forma cristalina determinada que se denomina *sólido de exfoliación*. Según que el mineral ofrezca más o menos facilidad para exfoliarse, se dice que la exfoliación es fácil o difícil. En cuanto a la dureza, dentro de una misma cara cristalina se observa que varía, siendo menor en dirección paralela en los planos de exfoliación y mayor perpendicularmente a ellos.

Por último, entre los caracteres mecánicos es particularmente interesante la densidad; atendiendo a la cual se dividen: en muy ligeros, ligeros, pesados y muy pesados. Los minerales pétreos ofrecen una densidad menor que los metálicos, y por esto las piedras con densidad mayor de 4 se consideran muy pesadas, mientras que se dice que un mineral metálico es muy pesado cuando su densidad es superior a 8, pudiendo llegar en algunos a 20 y aun 23. Los minerales ligeros tienen una densidad no muy superior a 1 y en los muy ligeros pueden ser menor, en cuyo caso flotan en el agua.

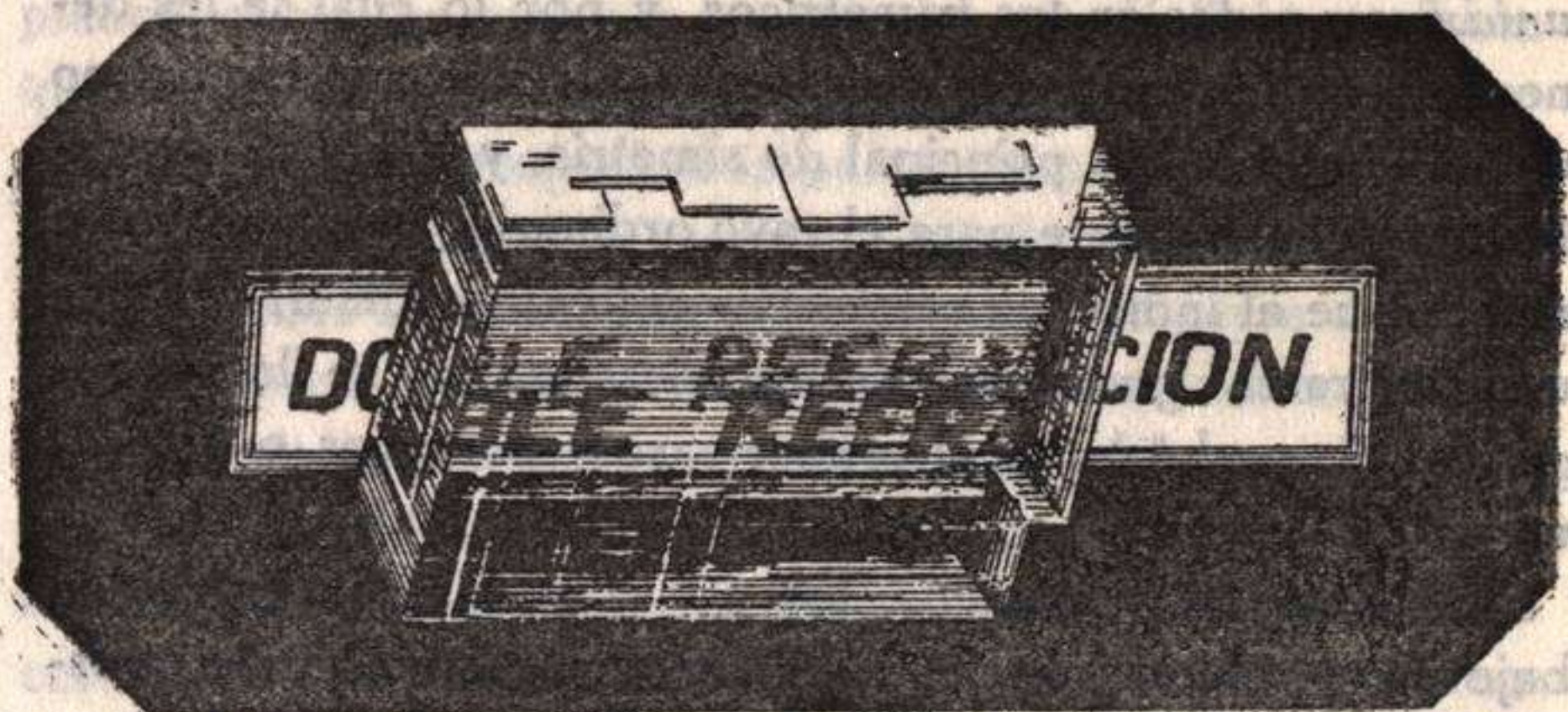
Clasificación óptica de los cristales.—El fenómeno de la refracción sencilla se verifica en los cuerpos amorfos y en los cristales del sistema cúbico en todas direcciones, denominándose por ello *monorrefringentes* y también *isótropos* y *poliáxicos*; pero en los cristales de los restantes sistemas el rayo incidente no sólo se desvía al refractarse, sino que se desdobla en dos rayos llamados *ordinario* y *extraordinario*; fenómeno denominado *birrefracción* o *doble refracción*, designándose por ello *birrefringentes* o *anisótropos*

a los cristales de los cinco últimos sistemas, existiendo, sin embargo, en ellos unas direcciones, llamadas *ejes ópticos*, según las cuales la refracción es sencilla, pudiendo haber un eje óptico en los cristales dimétricos, que se llaman por esto *uniáxicos*, o dos en los trimétricos, y por lo cual se les denomina ópticamente *biáxicos*. En los primeros el eje óptico coincide con el eje principal de simetría, y el índice de refracción es constante para el rayo ordinario, siendo mayor o menor que el índice de refracción del extraordinario, lo que caracteriza el *signo óptico* de los cristales, que se llaman *negativos* o *repulsivos* en el primer caso y *positivos* o *atractivos* en el segundo.

En los cristales biáxicos, los dos ejes ópticos se cortan bajo un ángulo variable en los diversos minerales, pero constante para cada uno, denominándose *bisectriz aguda* la línea que biseca los dos ángulos agudos opuestos por el vértice, y *bisectriz obtusa* o *normal óptica* su perpendicular, la cual biseca los ángulos obtusos. En los cristales rómbicos ambas líneas son ejes de simetría, coincidiendo el plano de los ejes ópticos con uno de los planos cristalográficos; en los monoclinicos puede serlo una de ellas o ninguna, según que el plano de los ejes ópticos sea perpendicular al plano de simetría o coincida con él, y en los triclinicos nunca son ejes de simetría ni la bisectriz aguda ni la normal óptica, puesto que no existen. Los índices de refracción de los dos rayos son variables, y por esto se puede decir que ambos son extraordinarios, y en realidad no hay en estos cristales signo óptico por no ser el índice de uno de los rayos siempre mayor o menor que el del otro, pero se conviene en considerarlos como positivos cuando la bisectriz aguda es la dirección de índice máximo y negativos cuando lo es la normal óptica.

El fenómeno de la doble refracción puede observarse con gran claridad en la calcita, mineral muy birrefringente, uniáxico, negativo del sistema exagonal romboédrico. Mirando en una dirección que no sea la del eje óptico, como, por

ejemplo, a través de dos caras del *romboedro de exfoliación* (fig. 56) los objetos se ven dobles, y girando el espato se observa que mientras la imagen ordinaria permanece fija, la



J. J. Ortiz Gamundi

Fig. 56.

extraordinaria gira en su derredor por variar el índice de refracción del rayo que la produce.

Polarización de la luz por los cristales.—Todo rayo de luz que penetra en un cristal anisótropo en cualquier dirección que no sea eje óptico, es decir, todo rayo de luz que sufre la doble refracción, emerge polarizado.

Polarizada la luz mediante un cristal uniáxico, el rayo emergente no puede atravesar otro cristal de la misma especie, cuyo eje óptico esté colocado perpendicularmente al del primero, que se denomina *polarizador* y *analizador* al segundo; ambos se construyen casi siempre, o con turmalinas talladas paralelamente al eje óptico y engastadas en discos giratorios unidos por un alambre en pinza (fig. 57), o con romboedros de espato de Islandia, que dan una sola imagen por eliminar el rayo ordinario que sufre la reflexión total (fig. 58) en un plano diagonal, según el cual se ha cortado el prisma, volviéndose a pegar ambos fragmentos con bálsamo de Canadá; estos prismas reciben el nombre genérico de *ni-*

coles. Si colocamos los dos nicoles con los ejes ópticos paralelos, veremos claridad a través de ellos, y tomando ahora como eje de giro el rayo luminoso y manteniendo quieto el polarizador disminuirá la claridad, girando el analizador hasta los 90° , en que la obscuridad tendrá un máximo por

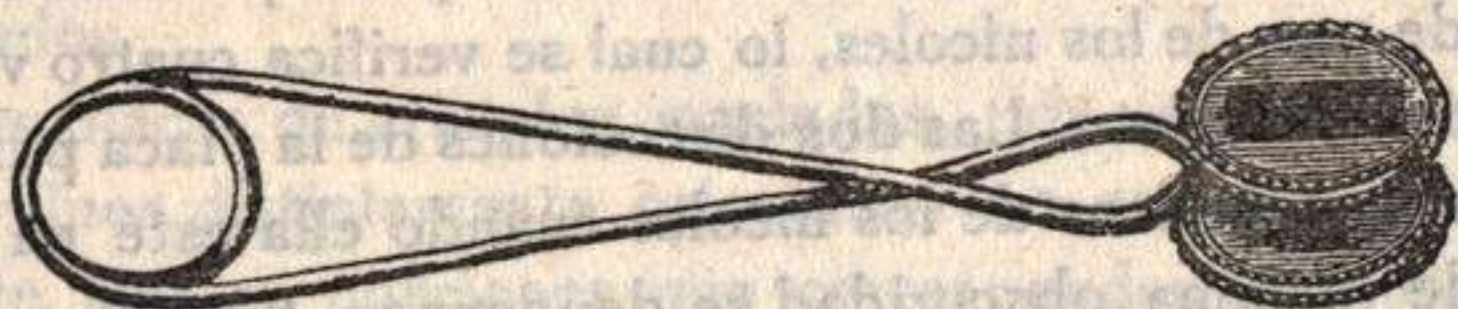


Fig. 57.

estar ahora cruzados los ejes ópticos de los nicoles, reapareciendo la claridad si reanudamos el giro del analizador hasta otro máximo de iluminación que distará 180° del primero, por volver a estar su eje óptico paralelo con el del polarizador, etc.

El estudio de los fenómenos que presentan las placas cristalinas cuando se observan entre polarizador y analizador son muy interesantes, variando según que los rayos polarizados que atraviesan la placa sean paralelos o convergentes. Las pinzas de turmalina ofrecen ambos fenómenos; los segundos aproximando mucho el ojo.

Estudio de las placas cristalinas a luz polarizada paralela.—Colocando una placa entre el polarizador y el analizador cruzados y atravesada por rayos paralelos polarizados por el primero y mirando a través del segundo, se observan fenómenos muy interesantes que dependen de la simetría de la placa y de su orientación con respecto a los ejes. La obscuridad que se produce estando cruzados los nicoles, subsiste cuando se interpone una placa isótropa, sea cualquiera la dirección en que esté tallada, o

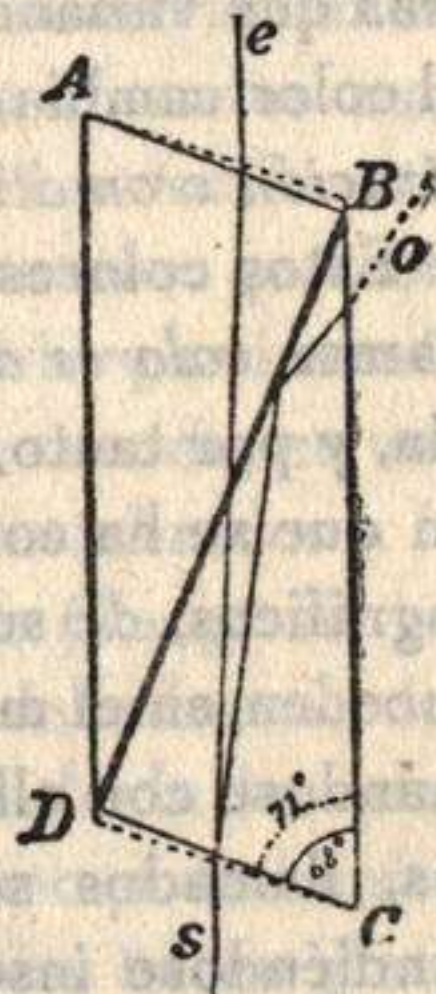


Fig. 58.

una anisótropa tallada perpendicularmente al eje óptico; pero se aclara si la lámina es anisótropa y oblicua o paralela a él. Sin embargo, si la placa en estas condiciones se hace girar en su plano, se extingue cuando el eje óptico (o su proyección, si la placa es oblicua a él) en los cristales uniáxicos o la bisectriz (o su proyección) en los biáxicos se pone paralela al eje óptico de uno de los nícoles, lo cual se verifica cuatro veces en un giro completo. Las dos direcciones de la placa paralelas a los ejes ópticos de los nícoles cuando ella esté en posición de máxima obscuridad se denominan *direcciones de extinción*, y su dirección con respecto a los elementos cristalográficos es dato interesante y característico de las especies minerales. Refiriendo su dirección a la de una arista yacente en la placa, se dice que la extinción es recta cuando se verifica paralelamente a ella y oblicua en caso contrario.

Cuando se opera con luz blanca, las placas anisótropas no normales a un eje óptico, no solamente se aclaran a la luz paralela, sino que se tiñen de un color cuyo matiz no varía si se gira la placa en su plano, pero sí su intensidad; mientras que variando el ángulo del polarizador y el analizador el color cambia, fenómeno conocido con el nombre de *polarización cromática*.

Estos colores que adoptan las placas biáxicas, y que se llaman *colores de polarización*, dependen de la birrefringencia, y por tanto, la naturaleza del mineral, de la orientación en que se ha cortado la placa con respecto a los ejes cristalográficos, de su espesor y del ángulo de los nícoles, y se suceden en el mismo orden que los anillos de Newton, formándose con ellos cuatro órdenes, separados por los violetas, llamados sensibles, porque, así como los demás van fundiéndose insensiblemente, éstos, a poco que cambian el ángulo de los nícoles, o bien el espesor o la orientación, cambian bruscamente.

De estos colores, los de 1.º y 4.º orden, que son muy dé-

biles, corresponden, respectivamente, a placas finas o gruesas, mientras las intermedias dan los de 2.º y 3.º orden, que son vistosísimos. Las placas demasiado finas o excesivamente gruesas no dan colores de polarización. Los colores que se observan a nicoles paralelos son siempre complementarios de los que se producen en las mismas condiciones a nicoles cruzados.

Las placas de cristales maclados, por estar formadas de individuos distintamente orientados no se extinguen totalmente, sino en porciones que corresponden a cada individuo simple, lo que constituye un método precioso para delatar las maclas por medio de la luz polarizada. Cuando la macla es una hemitropía múltiple, como los individuos tienen alternativamente la misma posición, se extinguen alternadamente y el cristal ofrece a luz polarizada zonas paralelas que se llaman *fajas polisintéticas*.

Los agregados de cristales microscópicos dan colores irisados, y en el caso de ser esferocristales una cruz negra que corresponde a los individuos que por estar paralelos a los ejes de los nicoles quedan extinguidos.

Ciertos cristales meroédricos sin centro de simetría tienen la propiedad de quedar claros entre nicoles cruzados aun cuando sean isótropos o anisótropos tallados normalmente a un eje óptico. El cinabrio, y sobre todo el cuarzo, que son minerales exagonales meroédricos, ofrecen esta particularidad, pero con la circunstancia de extinguirse cuando, en vez de mantenerse cruzados los nicoles, se gira el analizador a la derecha (*cristales dextrogiros*) o a la izquierda (*levogiros*) un cierto ángulo que depende de la naturaleza del mineral, del espesor de la placa y de la longitud de onda de la luz empleada, habiéndose denominado este fenómeno *polarización rotatoria* (1), por suponerse que estos cristales hacen girar,

(1) Las disoluciones de muchos azúcares y otros cuerpos orgánicos que poseen un átomo de carbono asimétrico, es decir, saturado por cuatro radicales distintos, ofrecen este fenómeno.

respectivamente a la derecha o a la izquierda el plano de polarización de la luz.

Un mismo mineral puede ofrecer cristales destrogiros y levogiros, pudiendo a veces reconocerse el signo de la polarización rotatoria por la situación de las caras meroédricas. Así, la posición de la cara rombale r (fig. 59) a la derecha de la trapeziana x en un cristal de cuarzo indica que es dextrógiro, mientras lo contrario ocurre en los levogiros.

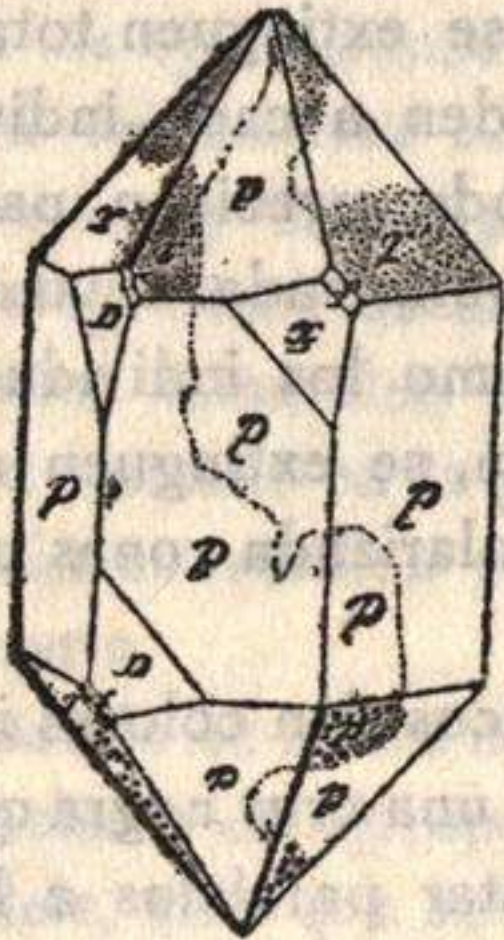


Fig. 59.



Fig. 60.

Estudio de las placas cristalinas a la luz polarizada convergente.—Las placas cristalinas talladas en ciertas condiciones dan, a la luz polarizada convergente, fenómenos crómáticos muy interesantes que se denominan *figuras de interferencia*. Las de los cristales uniáxicos talladas normalmente a un eje óptico a la luz polarizada convergente y monocromática consisten en círculos concéntricos (fig. 60) alternativamente oscuros y del color de la luz empleada, cruzados por una cruz de brazos iguales: negra a nicoles cruzados y blanca a nicoles paralelos. Si en vez de luz monocromática se emplea luz blanca, la figura es la misma, pero multicolora muy pintoresca. Esta figura no se altera aunque se gire la lámina en su plano; pero si se inclina, se descentra y sale fuera del campo.

Los cristales biáxicos ofrecen, tallados perpendicularmente a su eje óptico, una serie de elipses concéntricas atravesadas según su eje mayor por una barra negra; pero tiene más interés la figura que se observa cuando la placa es perpendicular a la bi-

sectriz aguda, la cual se compone de dos puntos o focos (que representan la intersección con la placa de dos ejes ópticos) rodeados de elipses envueltas por curvas en forma de ∞ (figura 61) y atra-

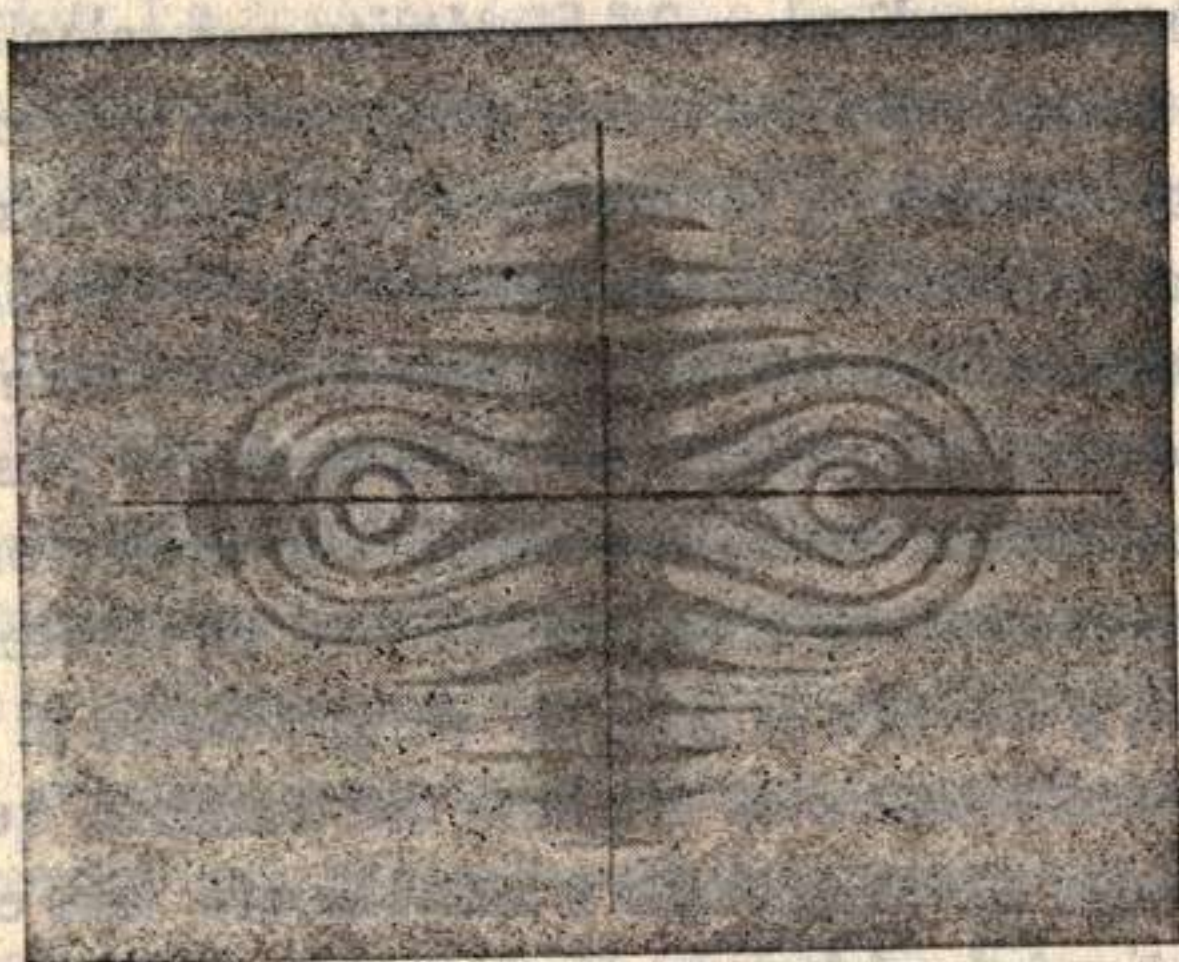


Fig. 61.

vesadas por una cruz de brazos desiguales, negra a nicoles cruzados y blanca a nicoles paralelos. Esta figura se produce cuando la placa está en la posición de extinción, es decir, cuando el plano de los ejes ópticos es paralelo al eje de uno de los nicoles; pero

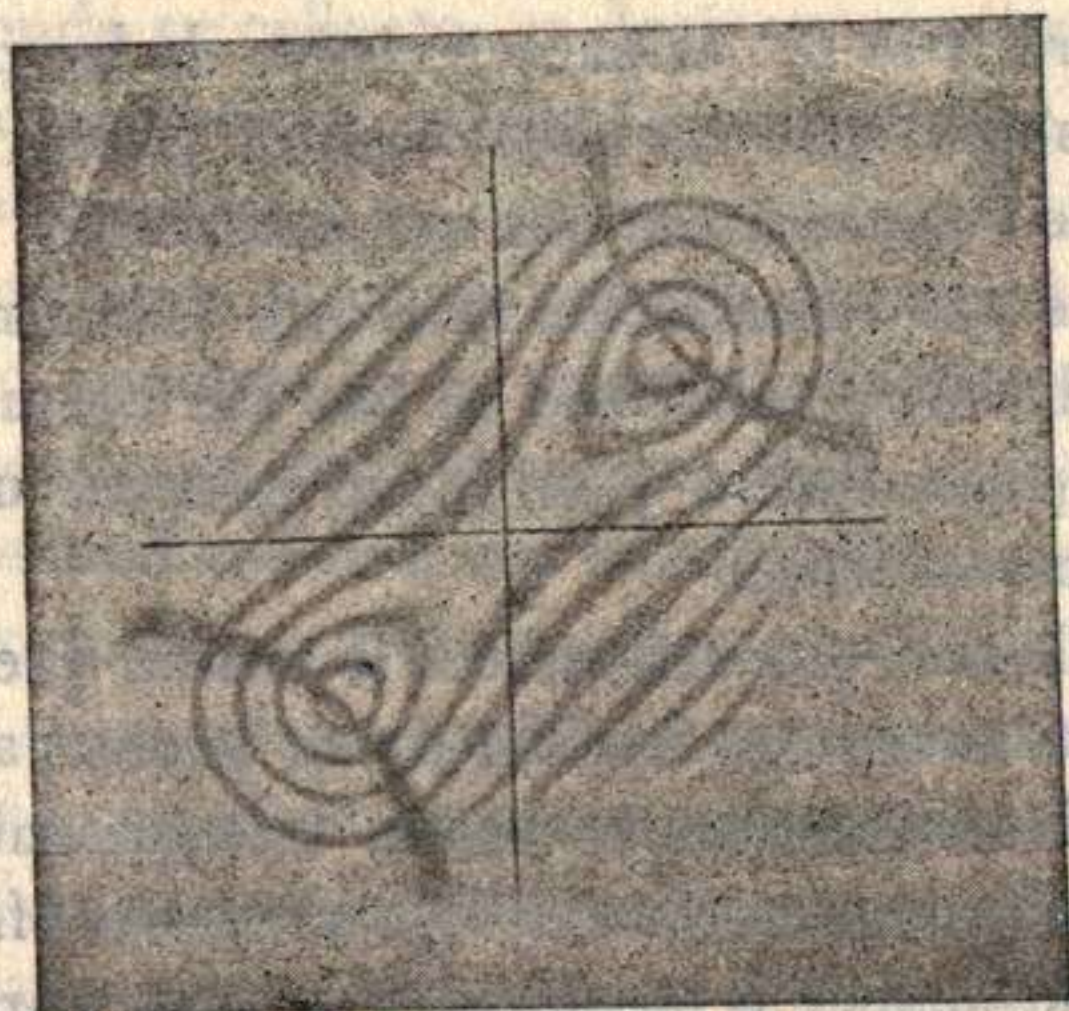


Fig. 62.

girando la placa en su plano hasta ponerla a 45° de los nicoles, la cruz se va dislocando hasta transformarse en dos ramas de hipérbola (fig. 62). Si el ángulo de los ejes ópticos

es muy pequeño, los dos focos estarán muy próximos y la figura se asemeja mucho a la de los cristales uniáxicos.

La figura de interferencia de los cristales biáxicos puede ser: 1.º Simétrica con relación a la línea que une sus focos y su perpendicular. 2.º Simétrica con relación a la línea normal a la que une los focos (*dispersión horizontal*). 3.º Simétrica con relación a la línea que une los focos *dispersión inclinada*. 4.º Simétrica con relación al cruce de ambas líneas, es decir, al centro de la figura, *dispersión cruzada*. 5.º Asimétrica. La primera es propia de los cristales rómbicos, en que ambas líneas son siempre intersecciones de la placa con dos planos de simetría; las tres siguientes de los monoclinicos, y de ella la 2.ª y 3.ª se producen si la bisectriz aguda está contenida en el plano de simetría, que será respectivamente perpendicular o coincidente con el plano de los ejes ópticos; la 4.ª si la placa es paralela al plano de simetría, coincidiendo entonces la bisectriz aguda con el eje de simetría, por lo que el punto de intersección de éste es un centro de simetría de la figura, y la 5.ª es característica de las placas asimétricas, en las que por no haber ejes ni planos de simetría, la figura tiene forzosamente que ser asimétrica.

Las placas uniáxicas con polarización rotatoria dan la misma figura, pero con el centro coloreado en vez de obscuro, y superponiendo una placa dextro y otra levo aparece una figura espiral (espirales de Airy).

Policroísmo.—El color por refracción, lo mismo que la transparencia de los minerales, es función de su grosor; así, todos los minerales pétreos opacos se hacen transparentes reducidos a láminas delgadas: un mineral rojo al trasluz ofrece secciones rosas amarillentas o incoloras. Por otra parte, el color por transmisión cambia, como todas las constantes físicas, según las direcciones, fenómeno que ofrecen los cristales anisótropos y que se denomina policroísmo, habiendo sido descubierto en la cordierita, llamada también dicroíta.

Ciertas fluorinas ofrecen la singular propiedad, llamada

fluorescencia, de aumentar el brillo y dar una coloración azulada a la luz que les atraviesa, y algunos cristales biáxicos, como la epídota, muestran, mirados a través de un eje óptico, fenómenos análogos a los de interferencia, que se llaman *penachos de absorción*. La *fosforescencia* es fenómeno también frecuente en algunos minerales cual la fosforita como puede comprobarse calentando su polvo en la obscuridad.

Dilatación y conductibilidad calorífica. — Los cristales, como todos los cuerpos, se dilatan por el calor; pero mientras en los isótropos la dilatación es la misma en todas direcciones, en los anisótropos varía. Esta circunstancia hace que cambie en los cristales anisótropos el ángulo de los diedros con la temperatura.

No debe, pues, extrañarnos que el sistema cristalino de un cuerpo pueda variar con la temperatura, y por ende las propiedades ópticas, como el índice de refracción y las propiedades de la birrefringencia en los cristales anisótropos. Así, el ángulo de los ejes ópticos del yeso se hace nulo cuando se calienta, es decir, que se hace uniáxico, y si se sigue calentando vuelve a ser biáxico; pero la posición del plano de los ejes ópticos cambia; el de muchos minerales, como en la baritina, celestina y cerusita, aumenta con el caldeo, mientras en la calamina disminuye. En unos minerales, estos fenómenos son reversibles, o sea que cuando se enfría el cristal vuelve a sus condiciones anteriores; en otros, como la ortosa, son permanentes, y así se reconoce en este mineral si ha estado sometido a grandes temperaturas, como sucede con el de las rocas volcánicas.

La conductibilidad es también la misma en todas direcciones en los isótropos, y distinta en los anisótropos; se demuestra esto recubriendo de cera una cara natural o artificial de un cristal y aplicando sobre ella la punta de una aguja calentada al rojo; la cera se va fundiendo por irradiación primero, después por conductibilidad a través del cristal y diseñando una figura que es circular en los cristales isótro-

pos y en los anisótrpos cuando la cara es perpendicular a un eje óptico, pero elipsoidal en éstos en cualquier otro caso.

Desarrollo de la electricidad en los minerales.—Los minerales malos conductores y los buenos conductores cuando están aislados desarrollan electricidad, ya vítrea (diamante, cuarzo, etc.), ya resinosa (ámbar, azufre, etcétera), cuando se les frota fuertemente, fenómeno que se manifiesta por la atracción de los cuerpos ligeros. También se electrizan los minerales exfoliándolos (yeso), desgarrándolos (mica) o comprimiéndolos (aragonito, fluorita, cuarzo y sobre todo, caliza). Los electros copios que se describen en Física son útiles para apreciar el desarrollo de estas manifestaciones eléctricas.

Los cristales hemimórficos, como los de turmalina, se electrizan por la elevación de temperatura (*piezoelectricidad*), con la particularidad de que los dos extremos del eje polar desigualmente modificado se cargan de electricidades contrarias que se invierten en el enfriamiento; en cambio, desaparece el estado eléctrico cuando la temperatura se mantiene constante. Se hace muy visible este fenómeno espolvoreando el cristal electrizado con polvo de minio y azufre: el primero se adhiere al polo positivo y el segundo al negativo, con lo que el cristal queda recubierto un extremo de rojo y otro de amarillo. También se desarrolla electricidad en los minerales metálicos puestos en contacto, uniéndolos con un hilo conductor y calentando el punto de unión. En los cristales hemiédricos ofrece este carácter gran interés, porque permite distinguir los dos hemiedros, positivo y negativo, por la dirección de la corriente cuando se experimentan sucesivamente con otro cuerpo.

Magnetismo.—Algunos minerales atraen la aguja imantada; pero mientras unos atraen indiferentemente los dos polos de la aguja, otros atraen uno y repelen el otro, El mineral que ostenta en mayor grado el magnetismo y en el que

fué descubierto, es la magnetita, que a veces es polar; pero hay otros muchos que son débilmente magnéticos y otros que se vuelven calentándolos o tostándolos.

Un electroimán poderoso es muy útil en Mineralogía para ir separando en las rocas los diversos minerales que la componen, según su mayor o menor riqueza en hierro, que les hace más o menos atraíbles.

Radioactividad.—Se ha descubierto en ciertos minerales y especialmente en los de urano, la propiedad de emitir energías, con la particularidad de hacer conductor al aire y de impresionar las placas fotográficas, habiéndose dado a este fenómeno el nombre de radioactividad, y utilizándose dichas propiedades para reconocerle.

Caracteres químicos de los minerales

Elementos químicos de los minerales.—Los minerales están formados por la asociación en proporciones definidas de cuerpos simples o elementos químicos que se consideran como tales por no haber sido hasta ahora descompuestos. El número de estos elementos es muy elevado, pero muchos de ellos son raros y no se encuentran más que en un limitado número de minerales, de modo que con un pequeño número de elementos ha bastado para dar lugar a la mayor parte del gran número de especies minerales que se conocen.

Estado natural de los elementos químicos.—De los elementos químicos, la mayor parte no se presentan libres o nativos, sino combinados, y aun los que se hallan libres, el estado nativo es, en muchos de ellos, excepcional. Los metales ligeros se encuentran generalmente en combinaciones oxigenadas o halogenadas, mientras que los pesados se muestran combinados con los anfígenos azufre, selenio, telurio, con el arsénico y con el antimonio, llamándose estos cuerpos mineralizadores, por suponerse que gracias a ellos

han salido al exterior los metales pesados en forma de sulfuros, arseniuros, antimoniuros, etc.

Entre las oxisales naturales, las más abundantes son los silicatos, que forman la mayor parte de las rocas; siguen después los carbonatos, sulfatos, etc.

Las combinaciones del carbono tienen en general un origen biológico.

Leyes de Haüy.—Se debe al insigne creador de la cristalografía el primer enunciado de las relaciones existentes entre la composición química y la forma cristalina, formuladas en las dos leyes siguientes: 1.^a Todo mineral se presenta siempre en una serie de formas que le son peculiares, pertenecientes al mismo sistema cristalino. 2.^a Los minerales de composición química análoga tienen propiedades también análogas, ostentan las mismas formas y del mismo sistema, y pueden cristalizar juntos, llamándose isomorfos.

Cada una de estas leyes merece un análisis especial. La primera admite una restricción importante, que es el polimorfismo; la segunda es la definición del isomorfismo, cuyo estudio tiene un gran interés en Mineralogía.

Polimorfismo.—La primera ley de Haüy sólo es exacta, a condición de tener en cuenta un nuevo factor la temperatura. Podremos, pues, enunciarla: todo cuerpo tiene un sistema cristalino constante a una determinada temperatura. Si nosotros hacemos cristalizar a una cierta temperatura un cuerpo, obtendremos siempre cristales del mismo sistema; pero si por el contrario, la cristalización se verifica a una temperatura distinta los cristales obtenidos pueden ser distintos. Así, cristalizando el azufre a la temperatura ordinaria, por medio del sulfuro de carbono, se obtienen cristales rómbicos, mientras que por fusión los cristales son monoclinicos (1).

(1) La variación del sistema cristalino con la temperatura no debe maravillarnos, ya que es una consecuencia de la variación del valor angular de los diedros, la cual a su vez, depende del diferente valor que el coeficiente de dilatación, como todas las constantes físicas, tienen según la dirección (pág. 49).

Habiendo podido formarse los minerales a temperaturas muy distintas, no es de extrañas que puedan presentarse cristalizados en sistemas distintos, fenómeno que parecía una excepción a la primera ley, tal como Haüy la enunció, denominándose a esta propiedad polimorfismo y reputándose de polimorfos los minerales que la ofrecen, los cuales ostentan también distintos caracteres.

De los distintos sistemas que adoptan los minerales polimorfos, uno de ellos es estable por ser el que corresponde a la temperatura ordinaria, y los otros de simetría menor, se asocian generalmente, formando cristales miméticos que ofrecen la simetría de la forma estable. Así, el carbonato de cal rómbico o aragonito (fig. 44), se presenta en cristales aparentemente exagonales, que es la simetría estable (calcita); el silicato de aluminio y potasio triclinico, microclina, forma cristales pseudomonoclinicos, que es el sistema de la forma estable (ortosa) (fig. 43), etc. Cuando un cuerpo polimorfo se presenta solamente en cristales pertenecientes a dos sistemas, recibe el nombre especial de dimorfo.

Isomorfismo.—La segunda ley de Haüy encierra la definición del isomorfismo. La reunión de los minerales isomorfos tiene una gran importancia en Mineralogía, porque permite la formación de grupos homogéneos y naturales, es decir, constituídos por minerales análogos. El conjunto de éstos forman las llamadas *series isomorfas* porque los caracteres van variando serialmente.

Los cuerpos isomorfos se encuentran muy frecuentemente asociados en proporciones diversas constituyendo las llamadas mezclas isomorfas, dando lugar a gran número de minerales intermedios en que los caracteres son también intermedios; parece, sin embargo, que los cuerpos que se mezclan prefieren ciertas proporciones, de modo que el número de minerales intermedios es limitado y oscila en derredor de unos cuantos tipos.

Análisis de minerales.—Se llaman cualitativos cuan-

do sólo se desea conocer los elementos químicos del mineral, y *cuantitativos* si además se desea saber su composición centesimal. Los primeros, llamados también ensayos, son los que se usan en el reconocimiento de minerales y se llaman *pirognósticos*, o por *vía seca* cuando se utiliza el calor e *higrognósticos*, o por *vía húmeda*, si se utilizan disoluciones y reactivos disueltos.

Ensayos pirognósticos.—Son los que deben prefe-

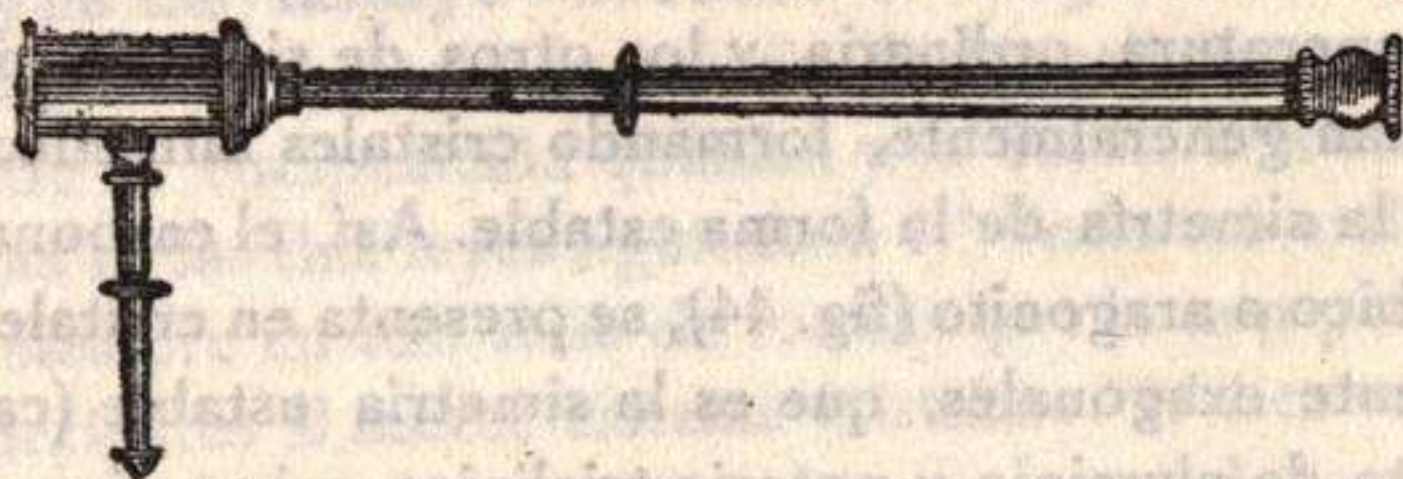


Fig. 63.

rirse en el reconocimiento de minerales y desde luego los más útiles, pues por ser impuras la mayor parte de las especies, los ensayos higrognósticos llevan en su misma exactitud un gran inconveniente (1).

Para efectuarlos, se utiliza una llama de alcohol, aceite o gas; el primero es muy cómodo porque no da humo, pero produce poca temperatura. En la mayor parte de los ensayos es preciso activar la llama con el soplete (fig. 63), que consta de dos tubos unidos en ángulo recto, de los cuales, el mayor, lleva en su extremo una boquilla destinada a ser adaptada a la boca, y el menor una punta de platino en su extremo. En la unión de los dos tubos hay una pequeña cámara cilíndrica, destinada a condensar el vapor de agua de la respiración. Con un poco de costumbre se consigue obtener, soplando por el soplete, una corriente continua de aire; pero si no se supiera o quisiera evitarse esta fa-

(1) La reacción del hierro con el sulfocianuro potásico la dan no sólo sus minerales, sino hasta las calizas más puras.

tiga, se pueden adaptar al soplete ordinario dos bolas de goma de pulverizador que dan una corriente continua de aire.

Introduciendo la punta del soplete] hasta el interior del cono luminoso se obtiene el fuego o dardo de oxidación

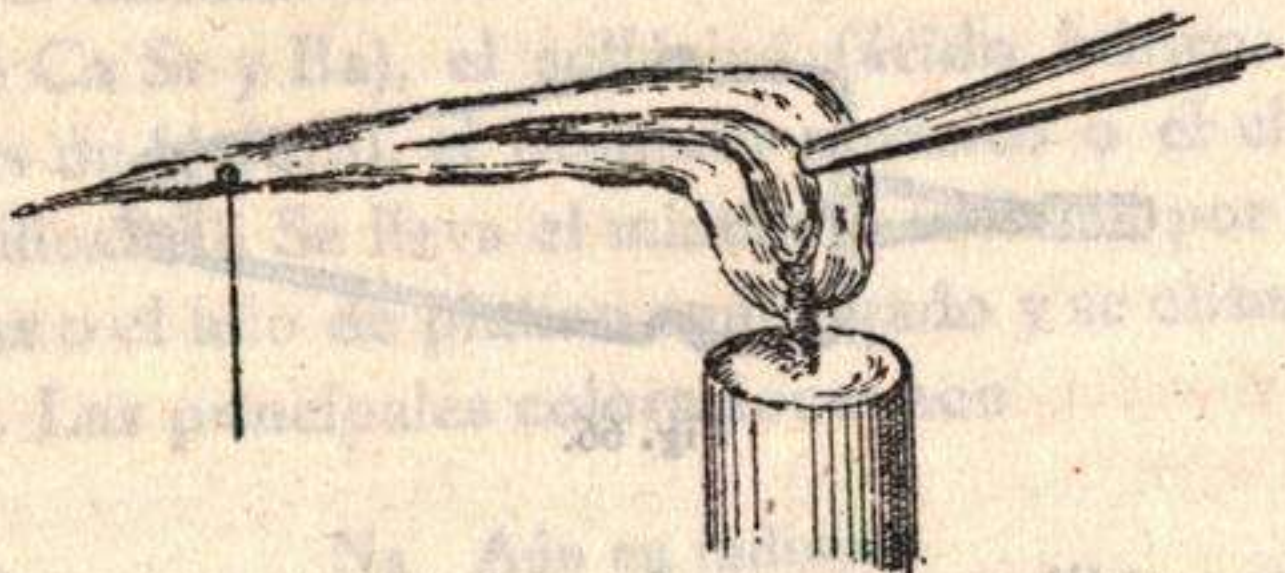


Fig. 64.

(fig. 64), debiendo colocarse el mineral a ensayar cerca de su punta. Para obtener la llama reductora se coloca el soplete en el borde de la llama (fig. 65) y el mineral en la región amarilla pálida (1).



Fig. 65.

Fusibilidad.—El primer ensayo pirognóstico que debe hacerse cuando se trata de reconocer un mineral, es el de determinar su grado de fusibilidad. Para ello se somete a la acción del borde de la llama, y si no se funde al dardo del

(1) Conviene que el principiante haga ejercicios de oxidación y reducción en una perla al bórax, adicionada de bióxido de manganeso, que se pondrá violeta al fuego de oxidación e incolora al de reducción, ensayando oxidarla y después reducirla para obtener la suficiente práctica en obtener los diferentes dardos.

soplete, una esquirra, que se separa del mineral mediante un martillo y un yunque de acero, y se utilizan como soporte unas pinzas con láminas de platino (fig. 66), un hilo del mismo metal arrollado en bucle en su extremo, o mejor, si el

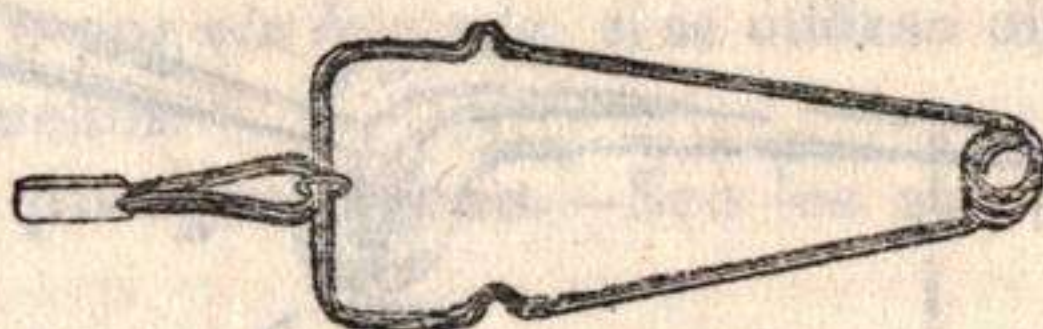


Fig. 66.

mineral es metálico, un trozo de carbón, en el que se hace una oquedad.

El grado de fusibilidad se relaciona con el de una serie de minerales tipos que forman una escala propuesta por Kobell y denominada de fusibilidad.

Se funden a la llama.	{	Fácilmente.	1.º Estibina.
		Difícilmente.	2.º Mesotipa.
Se funden al soplete.	{	Completamente en una bola.	3.º Granate almandino
		Solamente en los bordes.	4.º Actinota.
		Solamente las aristas muy finas.	5.º Ortosa.
		Solamente indicios de fusión en las aristas.	6.º Broncita.
Infusibles al soplete.		7.º Cuarzo.	

La fusibilidad de ciertos minerales infusibles o poco fusibles puede obtenerse mediante ciertos reactivos llamados fundentes (fluoruro de calcio, etc.), o empleando soplete oxidrico.

Coloración de la llama.—Ciertos cuerpos comuni-

can a la llama, cuando se aproximan a ella minerales que los contienen, un determinado color, siempre que estén formando una combinación volátil. La dificultad está en provocar la formación de este compuesto volátil, para lo cual debe tratarse el mineral sucesivamente por el ácido clorhídrico (sales de Ca Sr y Ba), el sulfúrico (ácido bórico, boratos, minerales de fósforo), el bisulfato potásico o el cloruro de calcio (silicatos). Se lleva el mineral a la llama por medio de las pinzas o el hilo de platino enmangado y se observa la coloración. Las principales coloraciones son

Amarillo.	Na	Aún en indicios.
Amarillo rojizo.	Ca	No fácil de observar en muchos minerales.
Violeta pálido.	K	Fácilmente enmascarado con el sodio si no se observa a través de cristal azul.
Púrpura.	Li	Le ofrecen pocos minerales (Lepidolita, Espodumena, Petalina, Turmalina).
Carmín.	Sr	Le ofrecen pocos minerales (Celestina Estroncianita).
Verde esmeralda.	Cu	Azul bordeado de púrpura si el mineral se humedece con ácido clorhídrico.
Verde azulado.	Ph	(Fosfatos.) Especialmente si el mineral está humedecido con ácido sulfúrico.
Verde amarillento.	B	(Boratos y borosilicatos.) Cuando se mezcle el min. con fluorita y bisulfato K.

A veces existen en un mismo mineral dos o más cuerpos que colorean la llama y uno de ellos enmascara la coloración de los demás. Sucede muy frecuentemente esto cuando hay sodio, cuyo escandaloso color amarillo no deja percibir los otros, pero se evita esto mirando la llama a través de un vidrio de color azul cobalto.

La presencia de un cuerpo halógeno en los minerales se reconoce muy bien colocando un poco de su polvo en una perla fundida de sal de fósforo saturada de óxido de cobre,

y colorea la llama de azul purpúreo si contiene cloro, azul verdoso si bromo y verde esmeralda si yodo debido a la formación respectivamente del cloruro, bromuro o yoduro de cobre.

Ensayos en el tubo cerrado.—Se realizan colocando el mineral en cantidad relativamente abundante en un tubo de ensayo o un pequeño matraz, empezándose por observar si decrepita, se funde, desagrega, fosforece en la obscuridad, etc., caracteres que dan ya indicios sobre la naturaleza del mineral, pero los fenómenos más interesantes que se observan son el cambio de color y el desprendimiento de gases y vapores, los cuales frecuentemente se depositan en la parte fría del tubo dando sublimados, cuyos caracteres son los siguientes:

Agua en gotitas (min. hidratados o hidroxílicos).

Glóbulos líquidos de mercurio (min. de Hg. previamente mezclados con carbonato sódico).

Gotas amarillas de azufre (algunos sulfuros y especialmente el de As. y Hg.)

Espejo metálico de As. (As. nativo y muchos sulfoarseniuros.) Roto el fondo del tubo y calentado el espejo, éste se vuelve a depositar bajo forma de sublimado blanco y dando olor aliáceo.

Sublimado rojizo (antimonita y sulfoantimoniuros).

Sublimado amarillo y rojo (Rejalgar Oropimente y muchos sulfoarseniuros).

Negro volviéndose rojo por frotación (min. de S. y Hg).

Ensayos en tubo abierto.—Se emplea para ellos un tubo abierto por sus dos extremos y acodado en ángulo obtuso, con los dos brazos desiguales. Se coloca el mineral en la rama corta, y dirigiendo por ella el dardo del soplete se oxida la sustancia, dando lugar en ciertos minerales a la formación de gases, vapores y sublimados característicos que permiten reconocerlos.

Los vapores de olor a pajueta indican un sulfuro, los blan-

cos de olor aliáceo el arsénico, los densos y blancos el antimonio, los de fuerte olor a mostaza el selenio.

Los sublimados que se obtienen pueden ser; blanco cristalino (*octaedros*) volátil por lo que puede pasarse por el tubo (sulfuros de arsénico, arseniuros y sulfoarseniuros) blanco fijo y amorfo (min. de antimonio), pardo en caliente amarillo en frío (min. de Bismuto).

Ensayos sobre el carbón.—Se emplean generalmente para las sustancias metálicas y se coloran en una oquedad hecha en un carbón de pino, y dirigiendo el dardo de reducción.

El ensayo funde y penetra en los poros del carbón.....	Sales alcalinas: Sal gemma.	
El ensayo deflagra.....	Nitratos: Nitro, Nitratina.	
El ensayo rompe con estrépito, saltando en pedazos (decrepita)...	Galena, Sal común (1).	
El ensayo da vapores olorosos...	Sulfuros, Arseniuros.	
El ensayo deja residuo blanco infusible.....	Minerales de Ca, Mg, Sr, Al.	
El ensayo se reduce a un glóbulo metálico. . .	Magnético.....	Hierro, Níquel, Cobalto.
	No magnético. {Frágil... Maleable	Bismuto, Antimonio. Plomo, Plata.
Se forma en torno del ensayo una aureola. . .	Amarilla clara en caliente y en frío.....	Plomo (Galena, Cerusa, Píromorfita, etc.)
	Amarilla oscura en caliente y en frío.....	Bismuto (Bismutina, Eulitina).
	Amarilla en caliente, blanca en frío.....	Zn, Sn (Bienda, Casiterita, Calamina).
	Roja o parda.....	Cd, y Se (Greenokita).
	Blanca.....	As, Sb, Arseniuros y Antimoniuros.

Ensayos con carbonato sódico.—La formación de glóbulos se facilita mucho con el empleo del carbonato sódico y sirve además para reconocer los sulfuros y sulfatos.

(1) Si el ensayo decrepita es preciso pulverizarlo para evitar esta decrepitación, que hace salir el ensayo.

El ensayo se moja en agua después de reducido, y da el olor a huevos podridos, característico del sulfido hidrico. Hay que advertir que el ensayo es frecuentemente absorbido por el carbón, y cuando no lo es toma un color de hígado que recibe el nombre de hepar. También se puede emplear el carbonato sódico en el tubo cerrado; fundiéndolo con minerales de mercurio da gotitas metálicas de dicho metal, y con arseniatos un anillo negro de arsénico metálico.

Perlas al bórax y a la sal de fósforo.—Son reacciones muy utilizadas para conocer el metal que predomina en un mineral, y se hacen fundiendo en el alambre de platino un poco de uno de dichos reactivos hasta obtener una perla límpida, con la que se toca un poco del polvo del mineral obtenido con morteros de ágata, como el que representa la figura 67. Se sigue calentando la perla, obteniéndose coloraciones que varían, según que la perla sea de bórax biborato sódico o de sal de fósforo (sulfato hidratado de sodio y amonio), a la llama de reducción o a la de oxidación en caliente o frío.

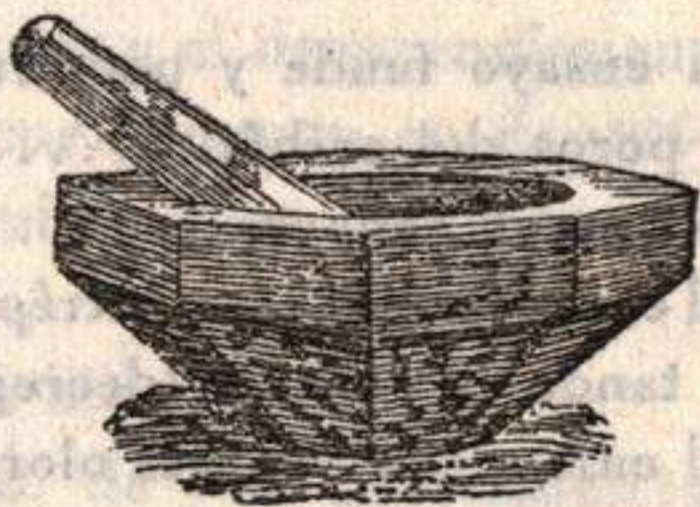


Fig. 67.

La intensidad de estos colores depende de la cantidad del elemento colorante, y a veces la unión de dos o más metales produce coloraciones mixtas.

Para facilitar la producción de las perlas de reducción conviene adicionar a la perla un poco de limaduras de estaño.

Las perlas de sal de fósforo son un poco más difíciles de obtener por la gran fusibilidad de esta sal, pero dan coloraciones más vivas y sirven muy bien para reconocer los silicatos. en los que la sílice queda en libertad en la perla, conservando la forma del ensayo, lo cual se llama dar en la sal de fósforo esqueleto de sílice.

Las coloraciones de estas perlas son las siguientes:

COLORES

PERLAS A LA SAL DE FOSFORO

Cuerpos.....	A LA LLAMA DE OXIDACION		A LA LLAMA DE REDUCCION	
	En caliente		En frío	
	En caliente	En frío	En caliente	En frío
Mn	Violeta obscuro o violeta rojo.	Violeta obscuro o violeta rojo.	Rosa o incolora.	Rosa o incolora.
Fe	Rojo obscuro o amarillo orín.	Amarillo claro o incolora.	Pardo verdoso.	Verde botella o verde negro.
Cr	Verde mar.	Verde esmeralda.	Verde mar.	Verde esmeralda.
Ni	Rojo caoba o amarillo obscuro.	Amarillo obscuro, claro o incolora.	Amarillo gris.	Gris.
Co	Azul intenso.	Azul cobalto.	Azul intenso.	Azul cobalto.
Ur	Amarillento.	Verde amarillo.	Verde mar.	Verde esmeralda.
Ti	Amarillo claro.	Incolora.	Violáceo.	Violeta claro.
Va	Incolora o amarillo claro.	Incolora o amarillo claro.	Verde mar.	Verde esmeralda.
Mo	Amarillo verdoso.	Verde.	Verde mar.	Verde esmeralda.
W	Incolora o amarillo claro.	Incolora.	Gris azulado.	Azul claro.
Sb	Amarillo claro.	Incolora.	Gris.	Gris.
Yb	Amarillo claro.	Incolora.	Gris o negra.	Gris o negra.
Bi	Amarillo claro.	Incolora.	Gris.	Gris.
Cu	Verde.	Azul claro.	Verde mar o incolora.	Rojo opaco.
Ag	Amarillento.	Amarillo irisado.	Gris.	Gris.

COLORES

PERLAS AL BORAX

Cuerpos.....	A LA LLAMA DE OXIDACION		A LA LLAMA DE REDUCCION	
	En caliente		En frío	
	En caliente	En frío	En caliente	En frío
Mn	Amatista.	Amatista.	Rosa o incolora.	Rosa o incolora.
Fe	Amarillo orín o rojo obscuro.	Amarillo claro o incolora.	Verde mar.	Verde botella o negro verde.
Cr	Amarillo verdoso.	Verde amarillento.	Verde mar.	Verde esmeralda.
Ni	Rojizo o amarillo obscuro.	Amarillo obscuro, claro o incolora.	Amarillo gris.	Gris.
Co	Azul intenso.	Azul cobalto.	Azul intenso.	Azul cobalto.
Ur	Amarillo anaranjado.	Amarillo de oro.	Verde mar verde.	Verde.
Ti	Amarillento.	Amarillento.	Pardo claro transparente.	Pardo obscuro opaco.
Va	Amarillo o amarillo obscuro.	Amarillo claro.	Verde mar.	Verde esmeralda.
Mo	Amarillento.	Incolora.	Pardo claro transparente.	Pardo obscuro opaco.
W	Amarillo claro.	Incolora.	Incolora o amarillenta.	Amarillo gris.
Sb	Amarillo claro.	Incolora.	Gris.	Gris.
Yb	Amarillo claro.	Incolora.	Gris o negra.	Gris o negra.
Bi	Amarillo claro o amarillo orín.	Incolora o amarillo claro.	Gris.	Gris.
Cu	Verde.	Azul claro.	Verde mar,	Rojo opaco.
Ag	Amarillo claro.	Amarillo gris irisado.	Gris.	Gris.

Ensayos con nitrato cobaltoso.—Se aplica a las sustancias blancas después de calcinación. Se embebe el ensayo de una disolución de nitrato cobaltoso y se calienta fuertemente al dardo de oxidación en el carbón o en las pinzas de platino, observándose la coloración que toma después del enfriamiento; ésta es azul en los minerales de alumina, fosfatos terrosos, boratos y silicatos alcalinos, verde en los de cinc y rojo en los de magnesio.

Reactivos diversos de vía seca.—Pueden utilizarse en la vía seca otros reactivos. Además del estaño y del carbonato sódico ya citados, pueden emplearse el cianuro potásico y el oxalato potásico para facilitar las reducciones, el nitro como oxidante, el bisulfato potásico para descomponer los minerales muy estables, el espato fluor como fundente, etc.

Ensayos higrognósticos.—Con este nombre y el de ensayos por vía húmeda se designan aquellos que están fundados en reconocer los minerales por las coloraciones que toman o los precipitados que se forman en sus disoluciones cuando se les trata por reactivos determinados. El material que exigen es muy sencillo, pues se reduce a unos tubos de ensayo en donde se verifican las reacciones y una caja de reactivos de vía húmeda. Una lamparilla de alcohol y una pinza de madera para sostener los tubos, son accesorios también necesarios para ayudar las reacciones con el calor.

Disolución de los minerales.—La primera operación que es preciso realizar cuando se trata de analizar un mineral por la vía húmeda es disolverle. Son pocos los minerales solubles en el agua, la mayor parte es preciso tratarlos por ácidos en el siguiente orden: el clorhídrico, nítrico, agua regia, ácido sulfúrico y ácido fosfórico; si el mineral no se disolviera en ninguno de estos líquidos ni aun en caliente, se funde con carbonato sódico en crisol de platino con bisulfato potásico o nitro.

Al verificarse la disolución se pueden observar fenómenos que dan indicios acerca de la composición del mineral ensayado, como efervescencia, desarroyo de vapores nauseabundos, rutilantes, etc., depósitos (azufre, sílice gelatinosa, pulverulenta, etc.).

Reacciones características de las principales sales minerales.—Las disoluciones de los cloruros dan precipitado blanco con el nitrato de plata, de plomo y mercurioso, y desprenden cloro, calentados con bióxido de manganeso y ácido sulfúrico, el de los bromuros y yoduros con el nitrato de plata es blanco amarillento, pero aquéllos con sulfuro de carbono o cloroformo y agua de cloro dan color amarillo rojizo, y éstos en las mismas condiciones, pero empleando un nitrito alcalino en vez de agua de cloro, producen un licor amarillento que tiñe de un hermoso azul el engrudo de almidón. Por último, los fluoruros con el ácido sulfúrico dan ácido fluorhídrico que corroe el vidrio.

Los sulfuros alcalinos en disolución acuosa dan precipitado negro con el nitrato de plata y el acetato de plomo, y con el nitroprusiato sódico una coloración violeta. Los insolubles se pueden transformarse en alcalinos fundiéndolos con potasa. Los sulfuros alcalinos y los insolubles desprenden, cuando se les trata con ácido clorhídrico, ácido sulfhídrico, de olor fétido, que ennegrece la plata y el papel de filtro impregnado con una disolución de acetato de plomo.

Los sulfatos en disolución dan con el cloruro bórico un precipitado blanco, así como también con acetato de plomo. Los insolubles deben fundirse con carbonato sodopotásico para hacerles solubles en agua.

Las disoluciones de los fosfatos dan con la mixtura magnésiana (sulfato de magnesio, amoníaco y cloruro amónico) un precipitado blanco cristalino, soluble en el ácido acético, con el nitrato plata precipitado amarillo soluble en ácido nítrico, y las disoluciones ácidas se colorean en amarillo cuando se las trata en caliente por una solución de molib-

dato amónico saturada de ácido nítrico, apareciendo al poco tiempo un precipitado amarillo muy tenue.

Los papeles de cúrcuma impregnados de la disolución acuosa de un borato o ácido bórico, acidulada con ácido clorhídrico, calentados a 100°, toman un color rojo característico.

Los silicatos y el ácido silícico con fluoruro cálcico y ácido sulfúrico desprenden fluoruro de silicio, que se reconoce porque en presencia del agua se descompone, dando sílice gelatinosa.

Los carbonatos se reconocen principalmente por la efervescencia que dan con los ácidos, especialmente con el clorhídrico, nítrico y sulfúrico.

Caracteres analíticos de los metales en disolución.—1.^{er} GRUPO.—*Oro*.—Con el hidrógeno sulfurado y el sulfuro amónico, precipitado negro; con el cloruro estannoso adicionado de unas gotas de agua de cloro dan sus disoluciones en agua regia una coloración roja (Púrpura de Cassius).

Platino.—Con el hidrógeno sulfurado, precipitado negro. Sus disoluciones en agua regia dan con el cloruro potásico o amónico, precipitado amarillo cristalino.

Antimonio.—Con el hidrógeno sulfurado, precipitado rojo naranja; y con la potasa o la sosa, color blanco.

2.^o GRUPO.—*Plomo*.—Con el hidrógeno sulfurado y el sulfuro amónico, precipitado negro; con la potasa o la sosa, blanco; con el ácido clorhídrico, precipitado blanco que se disuelve calentándolo; con el sulfúrico, también blanco, y con el cromato potásico, amarillo soluble en la potasa.

Plata.—Con el hidrógeno sulfurado y el sulfuro amónico, precipitado negro; con la potasa, la sosa o el amoníaco, oscuro; con el ácido clorhídrico, blanco cuajoso que se ennegrecé por la luz y se disuelve en el amoníaco.

Mercurio.—Con el hidrógeno sulfurado dan precipitado negro; con el ácido clorhídrico, blanco las mercuriosas, y del mismo color es el precipitado que hace nacer en las mercúricas el amoníaco,

Cobre.—El hidrógeno sulfurado forma en las disoluciones de las sales cúpricas un precipitado negro. El amoníaco, verde azulado soluble en exceso de reactivo, tomando el líquido un hermoso color azul. Con el ferrocianuro potásico, pardo rojizo.

Cadmio.—Con el hidrógeno sulfurado o el sulfuro amónico, precipitado amarillo.

Bismuto.—Con el hidrógeno sulfurado o el sulfuro amónico, precipitado negro; con la potasa, la sosa y el amoníaco, blanco.

Niquel.—Las disoluciones neutras con el hidrógeno sulfurado o con el sulfuro amónico, precipitado negro; con la potasa o la sosa, verde; y con el amoníaco, verde soluble en exceso de reactivo, tomando el líquido color azul.

Cobalto.—Las disoluciones neutras dan con el hidrógeno sulfurado o el sulfuro amónico precipitado negro; la potasa, la sosa y el amoníaco, precipitado azul, siendo el de este último, soluble en exceso de reactivo, tomando el líquido color pardo rojizo.

Hierro.—Las sales ferrosas neutras dan con el hidrógeno sulfurado o el sulfuro amónico, precipitado negro; con la potasa o la sosa, blanco, que se oscurece en contacto del aire, tomando color verdoso; con el ferrocianuro potásico, precipitado azul Turnbull; las férricas con el primer reactivo dejan azufre en libertad; con la potasa, la sosa o el amoníaco, rojo pardo; con el ferricianuro potásico, azul de prusia; con el sulfocianuro potásico, coloración roja intensa.

Manganeso.—Las disoluciones neutras dan con el hidrógeno sulfurado o con el sulfuro amónico precipitado color salmón.

Zinc.—Las disoluciones neutras dan con el hidrógeno sulfurado o el sulfuro amónico precipitado blanco.

Aluminio.—Las disoluciones neutras dan con el hidrógeno sulfurado, el sulfuro amónico, la potasa, la sosa o el amoníaco, precipitado blanco.

Cromo.—Con los anteriores reactivos, precipitado verde azulado.

Bario.—Con el ácido sulfúrico o un sulfato, precipitado blanco; con el bicromato potásico, precipitado amarillo.

Calcio.—Las disoluciones saturadas de amoníaco dan con el oxalato amónico un precipitado blanco cristalino.

Estroncio.—Con el ácido sulfúrico o sulfato dan un precipitado blanco que tarda más en formarse que el de calcio.

Magnesio.—Con la mixtura magnesia, precipitado blanco.

Potasio.—Precipitado amarillo cuando se tratan en presencia del hiposulfito sódico con una disolución clorhídrica de subnitrito de bismuto.

Sodio.—Con el piroantimoniato potásico, precipitado blanco cristalino.

Amonio.—Las sales de amonio cuando se las calienta con la potasa o sosa desprenden amoníaco, que se reconoce por su olor característico y por el color pardo que comunica al papel de cúrcuma.

MINEROGRAFÍA

Especie mineral.—Se dice que dos minerales pertenecen a una especie cuando tienen la misma composición química y misma forma cristalina. Estos dos caracteres son, por tanto, los que definen la especie mineral, y por esto los cuerpos dimorfos son especies distintas.

Clasificaciones.—Las especies minerales se reúnen en familias, las familias en órdenes y los órdenes en clases, según sus afinidades, distinguiéndose dentro de las especies variedades. El conjunto ordenado de todos estos grupos constituye la clasificación, que cuando tiene por objeto el agrupar los minerales por sus afinidades se llama natural, y artificial cuando, en lugar de atenderse a ello, se disponen del modo más conveniente para su determinación. En las

primeras se eligen para la constitución de los grupos caracteres de importancia, en las segundas de fácil apreciación.

La clasificación adoptada enunciada sistemáticamente es la que sigue:

MINERALES	Sin carbono.	Sin silicio.	Simples.....	Clase I.	<i>Elementos.</i>		
			Compuestos.	Sin oxígeno...	Con ha- lógeno.	Clase II.	<i>Haloides.</i>
	Sin él...	Clase III.			<i>Lampritos.</i>		
	Con oxígeno	(Oxisa- les.)		Binarios.....	Clase IV.	<i>Oxidos.</i>	
				Ternarios	$R^{II} \text{ o } R^{IV}$.	Clase V.	<i>Sulfatoides.</i>
					R^{III}	Clase VI.	<i>Nitroides.</i>
				Con silicio.....	Clase VII.	<i>Silicoides.</i>	
	Con carbono.....	Clase VIII.	<i>Carbonados.</i>				

Glosología.—Los minerales se expresan por un nombre derivado generalmente del latín o del griego terminado con frecuencia en *ita*. El criterio a que se ha atendido para nombrarles es muy diverso, unas veces a su cristalización (Tetraedrita, Hemimorfita); otras a su estructura (Lepidolita, Actinota). Muchas a su composición química (Argentita, Cuprita, Calcita, Cobaltina), a su coloración (Azurita, Albita, Melanita), a alguna localidad (Aragonito, Andalucita, Labradorita), a cualidades ópticas (Dicroita, Mica), a mineralogistas eminentes (Wernerita, Häüyna, Dolomita, Quiroguita) y otra porción de conceptos que es imposible detallar.

CLASE I.—ELEMENTOS:

Se incluyen en ella aquellos minerales que están constituidos por un solo elemento químico y por sus muchas relaciones con éstos; se incluyen también sus mezclas isomorfas y aleaciones. Los cuerpos simples que se encuentran nativos en la Naturaleza son los siguientes: H, O, S, Se, Te, N, As, Sb, Bi, C, Ag, Hg, Cu, Au, Pt, Pa, Pb, Fe, Ir, Ro, y Ru. De estos cuerpos sólo nos ocuparemos de los sólidos

y líquidos, por ser los únicos que tienen caracteres mineralógicos especiales, pues los de los gaseosos son los mismos que los que en Química se les asigna. El carbono se estudiará en los minerales carbonados.

Orden I.—Metaloides.

Comprende los elementos electronegativos. Todos son gaseosos menos el azufre, selenio y telurio.

Azufre. S. Cristaliza en el sistema rómbico (fig. 68), en cristales generalmente octaédricos de color amarillo típico y lustre craso, o en masas cristalin

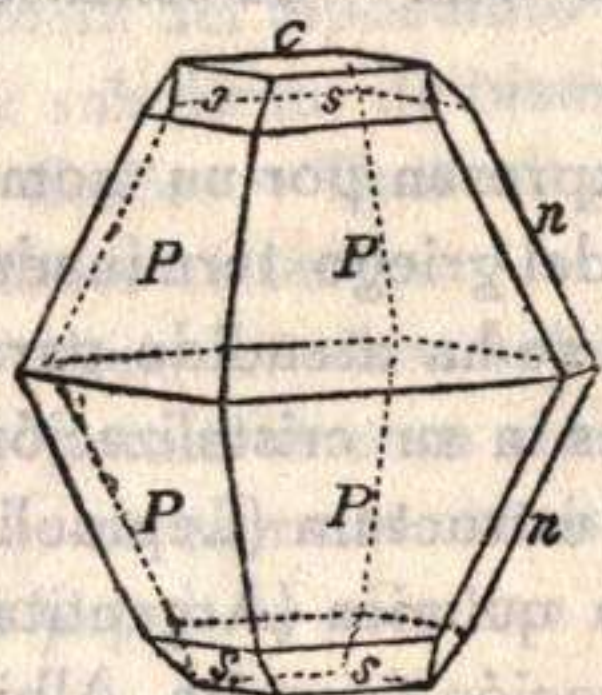


Fig. 68.

co y lustre craso, o en masas cristalin
nas amarillas, grises u oscuras. Frá-
gil, fusible, infamable, desprendiendo
olor sulfuroso. Insoluble en agua, solu-
ble en el sulfuro de carbono. General-
mente se encuentra mezclado con sele-
nio y sustancias bituminosas que obs-
curecen su color propio. Es mineral
generalmente sedimentario, alguna
vez volcánico. En España se encuentran
hermosos cristales en Conil (Cádiz),
Hellín (Albacete), Lorca (Murcia), y fosilizando moluscos en
Libros (Teruel). Se emplea el azufre en Medicina, en la In-
dustria para la fabricación de la pólvora, del ácido sulfúrico,
vulcanización de la goma elástica, etc., y en Agricultura
para el azufrado de las vides atacadas de *Oidium*.

Orden II.—Metales frágiles,

Constituye un orden muy natural, en el que se incluyen tres minerales isomorfos romboédricos, frágiles, cuyo peso específico oscila entre 5,7 a 10, muy termoeléctricos y fácilmente fusibles en general, como el **Arsénico, As; Antimonio, Sb, y Bismuto, Bi.**

Orden III.—Metales pesados.

En este orden se incluyen los metales nativos, generalmente maleables, difícilmente fusibles y cuya densidad varía de 7,2 a 23. Todos son cúbicos menos el paladio, y algunos, como el oro y el platino, son las únicas menas de dichos metales.

Plata. Ag.—Generalmente con algo de Au, Cu, As, etcétera. Cúbica; masas capilares, laminares o informes, de color blanco típico, generalmente ennegrecidas superficialmente. Fusible al soplete. Soluble en el ácido nítrico, dando las reacciones de la plata. Acompaña a sus minerales en los filones argentíferos. En España, en Sierra Almagrera y Hien-delaencina. Con sus minerales se utiliza para la extracción de la plata empleada en la fabricación de la moneda, alhajas, etc.

Mercurio. Hg. (Azogue).—Con algo de Ag disuelta. Líquido a la temperatura ordinaria, cristalizando cuando se le solidifica en el sistema cúbico. Se encuentra nativo impregnando en forma de gotitas brillantes al cinabrio de Almadén, en donde también se han hallado grandes bolsones. Se volatiliza al soplete y al tubo cerrado, y se disuelve en el ácido nítrico. Se emplea mucho en Medicina, en los laboratorios de Física y Química, y en las artes, en la fabricación de espejos. en la metalurgia del oro, etc.

Cobre. Cu.—Más o menos puro. Cúbico, generalmente en masas ramosas o informes, de color rojo típico, más o menos velado. Soluble en el ácido nítrico. Acompaña en sus filones a sus minerales y especialmente al óxido e hidrocabonato. En el lago Superior (Estados Unidos), Atacama (Chile). y en España en Río Tinto (Huelva). Bien conocidas son las aplicaciones del cobre para dar más dureza al oro y la plata, para multitud de aleaciones como el bronce y el latón, como conductor, etc.

Oro. Au.—Generalmente con algo de Ag y otros meta-

les. Cúbico. Amarillo más o menos claro, según la cantidad de plata que contenga. Fusible. Sólo soluble en el agua regia, dejando la plata insoluble en forma de cloruro. En pequeñas cantidades se encuentra en el cuarzo y pirita. Los ríos que pasan por rocas que contienen oro depositan arenas auríferas (*placeros* de los americanos), como el Darro en Granada, el Sil en el Vierzo y el Tajo en Toledo. En estos yacimientos es más fácilmente explotable que de la roca que le contiene. Se explota el oro en California, Perú, Australia, Urales, etc. Se emplea en joyería, en la fabricación de la moneda, aleado, lo mismo que la plata, para darles más dureza, con cobre, en una cierta proporción que se llama ley.

Platino. Pt.—Asociado al paladio, rodio, iridio, rutenio y otros metales raros, Cúbico, generalmente en pepitas plateadas y algo magnéticas. Infusible al soplete. Soluble en agua regia. Se encuentra en Río Pinto (Colombia), donde fué descubierto por los españoles, dándole el nombre de *platina del Pinto*, e importado a Europa por D. Antonio Ulloa. Se halla también en los Urales. Se emplea por su infusibilidad e insolubilidad en los ácidos para crisoles de laboratorio y en la fabricación de alhajas.

Hierro. Fe.—Cúbico y sumamente raro. Se ha hallado, sin embargo, en rocas volcánicas y es, en cambio, muy frecuente en rocas meteóricas. Infusible al soplete, soluble en el nítrico y clorhídrico.

Orden IV.—Aleaciones.

Familia 1.^a, ALEACIONES PROPIAMENTE DICHAS.—Asociación de dos metales, unas cúbicas, **Electro:** $m \text{ Au} + n \text{ Ag}$; **Porperita:** $m \text{ Au} + n \text{ Pd}$; otras exagonales, **Iridiosmina**, Ir Os.

Familia 2.^a, AMALGAMAS.—Formadas por el mercurio y otro metal. Son cúbicas, rara vez cristalizadas. **Arquerita:** Ag Hg. **Auramalgama:** $\text{Au}_2 \text{ Hg}_3$.

CLASE II.—HALOIDEOS: $Ha_x M_y$

Son combinaciones de los halógenos con metales o bien sustituciones del hidrógeno de los hidrácidos halógenos, por los metales. Las mas frecuentes en la Naturaleza son los fluoruros y cloruros.

Por analogías con los minerales de este grupo se incluyen aquí los oxiclорuros, en los que el cloro ha sido parcialmente sustituido por oxhidrilos.

Orden I.—Protohaloides. $Ha M'$

Son sales halógenas de metales monodínamos y cristalizan en el sistema cúbico. Unos son pétreos, otros metálicos.

Familia 1.^a, PROTOHALOIDEOS METÁLICOS.—Kerargira.
Cl Ag (*Plata córnea, Cloruro de plata*).—Cúbica, rara vez en cubos, generalmente en masas informes de color gris perla, azulado o verdoso, variando el tono por la acción de la luz, las cuales pueden cortarse con la navaja en virutas. Soluble en el amoniaco, dando las reacciones de la plata y del cloro. Fusible a la llama de una bujía. Se encuentra en España en Hiendelaencina, utilizándose para el beneficio de la plata. Isomorfas de este mineral son la **Bromargira**: Br. Ag (Bromuro de plata), la **Iodargira**: I Ag (Yoduro de plata), y la **Embolita** (Cloro bromuro de plata).

Familia 2.^a, PROTOHALOIDEOS PÉTREOS.—Halita. Cl Na (*sal común, marina, gemma, piedra o musíatica, Cloruro de sodio*).

—Cúbica, casi siempre en cubos, a veces corroidos, formando tolvos (fig. 69), con exfoliación cúbica o en masas transparentes, hialinas, grises, amarillas, rojas y

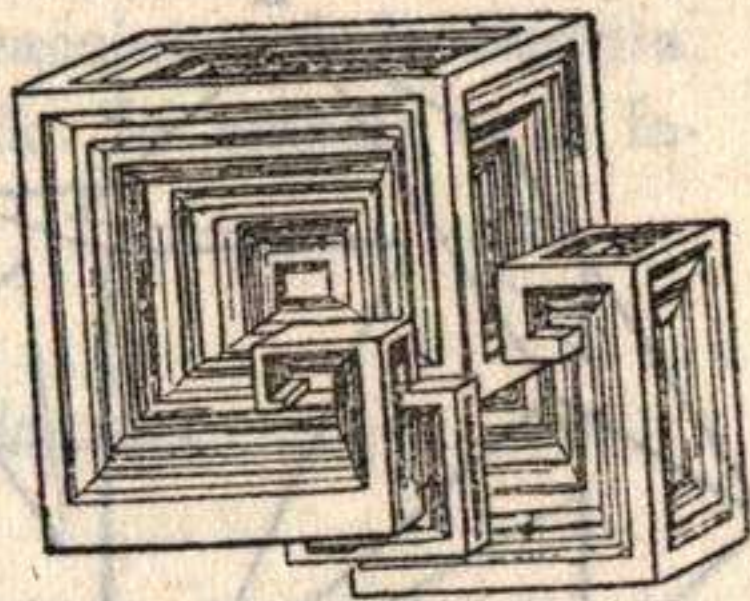


Fig. 69.

hasta azules o verdes, siendo estas coloraciones debidas a sustancias orgánicas. Diatérmica, lustre vítreo, sabor salado característico. Soluble en agua, dando las reacciones típicas, y en el alcohol tiñendo su llama de amarillo. Decrepita y funde fácilmente. Se encuentra en yacimientos de origen lacustre intercalada entre el yeso y la arcilla, de donde se explota con el nombre de sal gema; pero también se obtiene del agua de manantiales salinos o del agua del mar evaporada en grandes estanques de poco fondo. Encuéntrase la sal gema constituyendo grandes depósitos en Stassfurt y, en España, en Cardona (Cataluña), donde existe una verdadera montaña de sal. Como manantial salífero podemos citar el de Imón (Guadalajara), y como salinas marinas las de San Fernando (Cádiz). Son innumerables las aplicaciones de la sal en la industria (salazón, industrias químicas, etc.), usándose además como un imprescindible condimento.

La silvina. Cl K (*Cloruro potásico*), es también cúbica y muy rara.

Orden II.—Bihaloides. $Ha_2 M''$

Son sales halógenas de metales didínamos y también cúbicos.

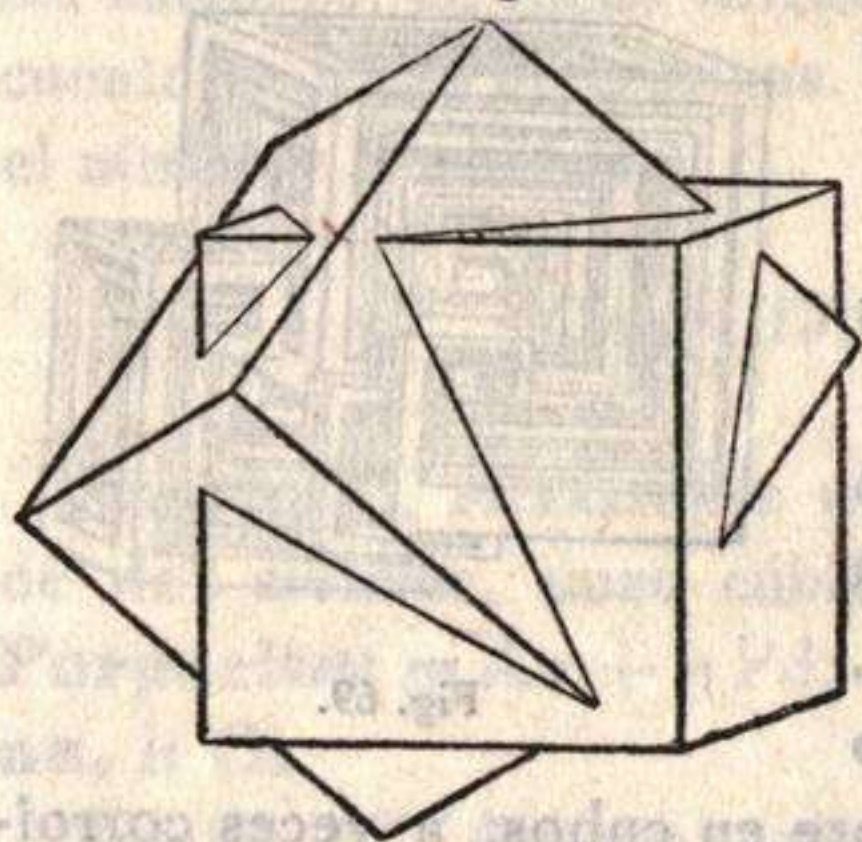


Fig. 70.

Fluorita. $Fl_2 Ca$ (*Espato fluor, Sal de lobo, Fluorina, Fluoruro cálcico*). —Cúbica, en hermosos cristales cúbicos, sencillos, combinados o maclados por penetración (fig. 70) o masas zonares blancas, amarillas, verdes, violetas, azules, rosas, y cuyas coloraciones rara vez son uniformes y debidas siempre a carburos de

hidrógeno. Exfoliación octaédrica. Transparente o trasluciente, lustre vítreo. Fosforescente y fluorescente. Salta calentada y se funde junto con el yeso al soplete. Soluble en el ácido sulfúrico con desprendimiento de ácido fluorhídrico. Es mineral filoniano que sirve de ganga a diversas menas. Son clásicos los cristales de Cornwall, Se emplea como fundente, para la fabricación del ácido fluorhídrico y grabado del vidrio, y para objetos de adorno las variedades bellamente coloreadas.

La Carnalita ($\text{Cl K} + \text{Cl}_2 \text{Mg} + 6 \text{H}_2 \text{O}$) forma cristales rómbicos de facies exagonal en Stassfurt.

Orden III.—Trihaloides. $\text{Ha}_3 \text{M}$.

El aluminio en átomo doble, unido por una ligadura, forma haloides de fórmula $\text{Ha}_6 \text{Al}_2$, que se encuentran unidos con otros haloides, como sucede en la

Criolita. $\text{Fl}_6 \text{Al}_2 + 6 \text{Fl Na}$ (*Fluoruro doble de aluminio y sodio*).—Asimétrica. En masas vítreas espáticas, generalmente blancas. Fusible a la llama de una bujía, coloreando la llama de amarillo. Da coloración azul al soplete con el nitrato de cobalto; al solidificarse se vuelve opaca. Con los ácidos da las reacciones de la fluorita. En filones metalíferos en Groenlandia. Se emplea en la fabricación del ácido fluorhídrico.

Orden IV.—Oxicloruros.

Algunos haloides tienen reemplazado parte de su elemento halógeno por oxhidrilos. El mineral más importante de ellos es la

Atacamita. $\text{Cl Cu}_2 (\text{OH})_3$.—Rómbica en pequeños cristales, masas terrosas o arenillas de un bello verde esmeralda y lustre vítreo. Colorea la llama de verde purpú-

reo y se funde al sooplete, dando glóbulo de cobre. Soluble en los ácidos y en el amoníaco, dando con esto una bella solución azul y presentando todos los caracteres del cobre. En el desierto de Atacama (Chile).

CLASE III.—LAMPRITOS: $L_N M_y$.

Los lampritos son combinaciones del azufre, selenio, telurio, arsénico antimonio y bismuto con los metales, siendo de advertir que los compuestos de los tres primeros elementos, que son didínamos, son isomorfos con los de los tres últimos, tridínamos, por funcionar éstos en átomo doble unidos por una de sus dinamicidades. Se comprende por esto que dos átomos de azufre pueden ser sustituidos por dos de arsénico o antimonio.

Los lampritos son minerales de brillo metálico, alguna vez no lo poseen y son transparentes, pero en general son opacos y densos. Su yacimiento es casi siempre filoniano. Se reconocen pirognósticamente por medio del tubo cerrado, por el olor que desprenden y por las aureolas a que dan lugar; y por vía húmeda muchos sulfuros calentados con ácido clorhídrico dan directamente olor sulfhídrico o después de fundidos con potasa.

Orden I.—Sublampritos. $L M_2$.

Son combinaciones de los lampritos con metales monodínamos o con didínamos en átomo doble y enlace sencillo.

Argentita. $S Ag_2$ (Argirosa. Plata negra).—Cúbica, en cubos u octaedros, alguna vez maclados o en masas negruzcas con poco brillo y que se cortan con facilidad en virutas con la navaja. Al soplete sobre el carbón se hincha, fundiéndose y dejando un botón de plata. Soluble en el ácido nítrico con depósito de azufre. Se encuentra

en Perú, Méjico y Sajonia, y constituye uno de los minerales más ricos en plata.

Calcosina. S Cu₂ (Cobre vítreo).—Rómbica, en cristales o masas de color gris, que se cortan también con la navaja. Fácilmente fusible con proyección, al soplete, coloreando la llama de azulado. Soluble en el ácido nítrico, con depósito de azufre. Es muy alterable, transformándose en otros minerales de cobre por oxidación y carbonatación. En España se encuentra en Linares (Jaén).

Orden II. Protolampritos L. M.

Los minerales de este orden pertenecen a tres tipos químicos distintos, que obligan a dividirlos en tres familias.

Familia 1.^a, L M'. En ellos el metal es didínamo,

En general, son lampritos de colores vivos y muchas veces transparentes.

Blenda. S Zn (Esfalerita).—Cúbica, tetraédrica, (fig. 48) con exfoliación rombododecaédrica. Electropolar. El aspecto de la blenda puede presentar dos tipos muy diferentes: uno transparente con brillo adamantino y color amarillo o rojo (*blenda acaramelada*), y otra opaca, con brillo metálico y color gris negruzco, rica en hierro (*blenda ferrífera*). Decrepita y no se funde al soplete. Soluble en caliente, en ácido nítrico, con desprendimiento de ácido sulfhídrico. La ferrífera acompaña a la galena en sus yacimientos, la acaramelada se encuentra en bellísimas masas espáticas en Picos de Europa (Pirineos marítimos). Se emplea para la metalúrgica del cinc. La **Wurtzita** es el sulfuro de cinc exagonal.

Cinabrio. S Hg.—Exagonal, en bellísimos cristales cortos de color rojo escarlata y lustre adamantino, o en masas rojas en las que se implantan los cristales. Poder rotatorio intensísimo, quince veces mayor que el del cuarzo. En el tubo cerrado da olor sulfuroso y gotitas de mercurio. Soluble en el agua regia. Su localidad clásica es

Almadén (Ciudad Real), y se encuentra también en Nueva Almadén (California) y en Idria (Carniolia). Es la mena del mercurio.

Covellina. S Cu.—Exagonal, generalmente en masas amorfas azules. Vesubio.

Familia 2.^a, L M^{III}.—El metal es tridínamo, pudiendo citarse el

Rejalgar. S As (*Sandaraca, Arsénico rojo, Sulfido hipoarsenioso*)—Monoclinico, en prismas, cortos o masas de un bello rojo anaranjado. Arde en el carbón y se vaporiza en el tubo cerrado, dando un sublimado rojo. Se ha citado, en España, en Asturias.

Familia 3.^a, L M^{IV}.—El metal es tetradínamo y funciona en átomo doble y con doble ligadura.

Galena SPb (*Alcohol de alfareros, sulfuro de plomo.*)—Cúbica, en formas holoédricas (fig. 16), o masas espáticas o granudas. Exfoliación cúbica muy perfecta. Color gris metálico. Contiene generalmente cinc, antimonio, selenio y plata. Al soplete en el carbón, decrepita, se funde y abandona aureola amarilla y botón maleable de plomo. Parcialmente soluble en ácido nítrico, con separación de azufre y depósito de sulfato de plomo por oxidación. Mineral muy frecuente, filoniano; generalmente acompañado de blenda y ganga de cuarzo, baritina, carbonatos y rara vez fluorina; en España es abundantísima en Linares (Jaén), Sierra Almagrera (Almería), Cartagena (Murcia) y otras muchas localidades. Se utiliza para el beneficio del plomo y para barnizar las basijas de barro ordinarias. Las variedades granudas, que son argentíferas (*ojo de perdiz* de los mineros), se emplean para obtener la plata, lo que ha producido un abaratamiento muy grande de ella.

Millerita. S Ni.—Exagonal, romboédrica, en pequeños cristales de un bello amarillo de oro o bronceados e irisados. Fusible. Soluble en agua regia. Da las reacciones del níquel.

Niquelina. As Ni (*Nicolita, Niquel arsenical*).—Exagonal; generalmente en masas de un color rojo cobre. Soluble en verde, en ácido nítrico, con depósito blanco de ácido arsenioso. Fusible. Se emplea para la obtención del níquel.

Orden III.—Sexquilampritos. $\text{L}_3 \text{M}_2$.

El metal en estos minerales es electro-negativo y tridínamo, siendo frecuentemente otro lamprito. Se llaman también sulfidos.

Es orden muy natural, constituido por minerales isomorfos del sistema rómbico.

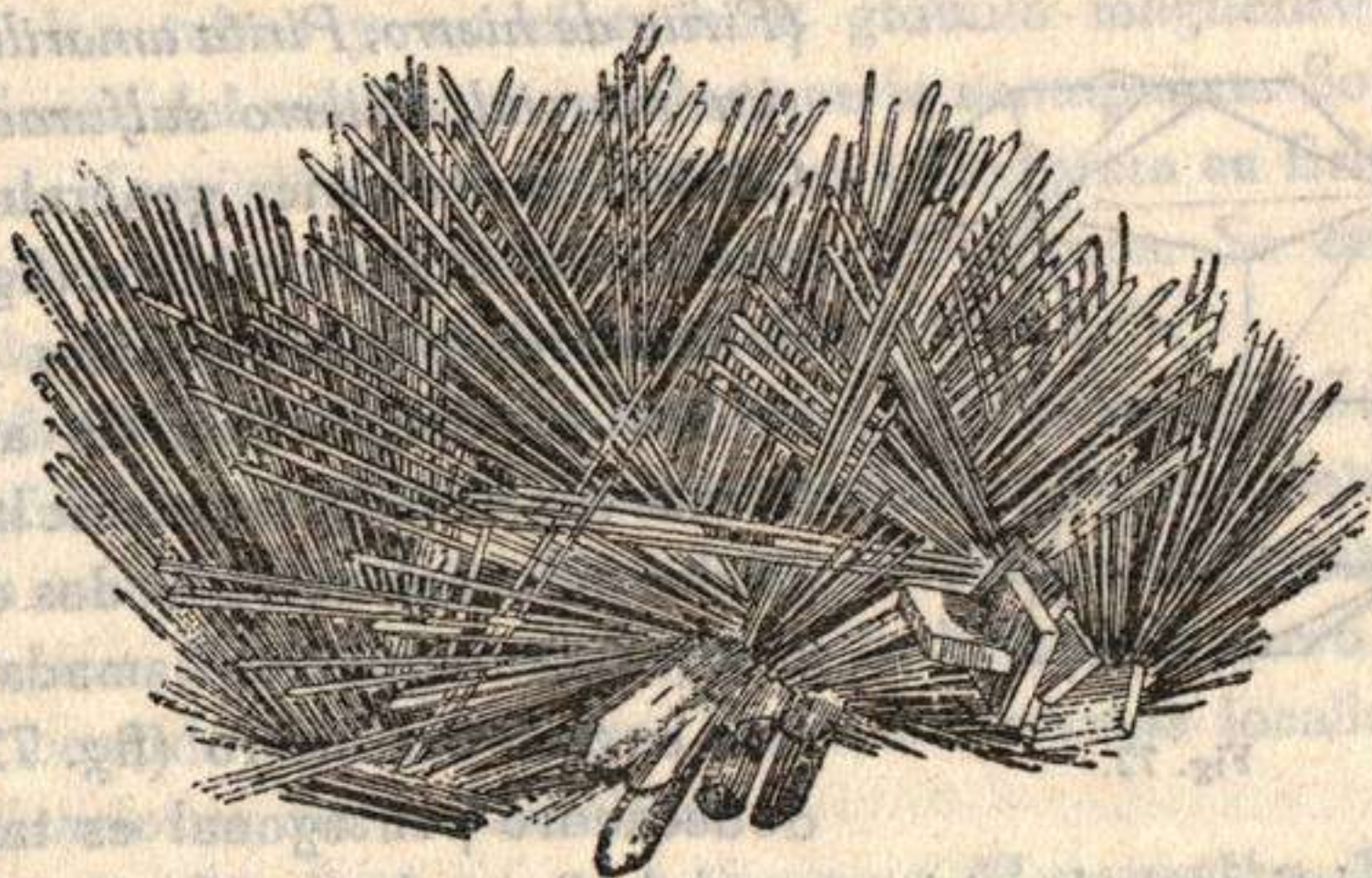


Fig. 71.

Oropimente. $\text{S}_3 \text{As}_2$ (*Arsénico amarillo, Sulfido arsenioso*).—Rómbico, generalmente en masas lamelares de un amarillo vivo, de lustre nacarado. Se sublima en el tubo cerrado y se disuelve en la potasa cáustica. Se encuentra en localidades análogas al rejalgar, y principalmente en el Kurdistán.

Estibina. $\text{S}_3 \text{Sb}_2$ (*Antimonita, Antimonio gris*).—Rómbica en cristales prismáticos o masas bacilares o fibroso-radiantes, (fig. 71) gris metálico, a veces irisadas. Da las aureoles típicas al tubo cerrado y abierto. Al carbón con sosa, da glóbulo frágil de antimonio. Atacable por los ácidos. Acompa-

ña en sus localidades a la blenda y galena. En España se encuentra en Asturias, León y Galicia. Es mineral importante por ser la mena del antimonio.

Orden IV.—Bilampritos. $L_2 M^{IV}$

El metal que los constituye es tetradínamo y funciona en átomo sencillo.

Los bilampritos forman dos series, la cúbico-piritoédrica y la rómbica. Son opacos, de lustre metálico, difícilmente fusibles y muy duros.

Familia 1.^a, BILAMPBITOS PIRITOÉDRICOS.—Pirita. $S_2 Fe$

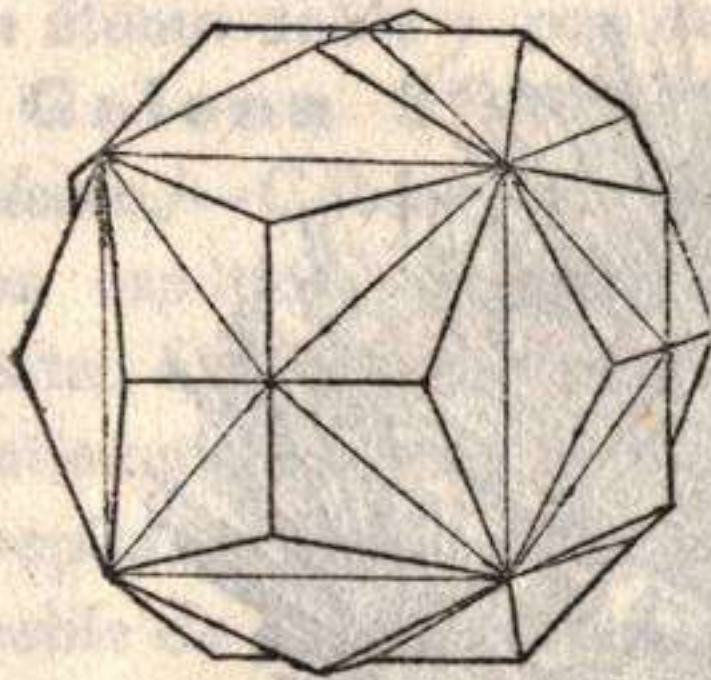


Fig. 72.

(Pirita de hierro, Pirita amarilla, Pirita marcial, Hierro sulfurado).—

Cúbica, piritoédrica generalmente en cristales sueltos cúbicos (fig. 24), dodecaédricos pentagonales (figura 26) o combinación de ambas formas (fig. 28). Es frecuente la macla de compenetración de dos dodecaedros pentagonales llamada crucita o cruz del hierro (fig. 72). El dodecaedro pentagonal es tan ca-

racterístico de la pirita que se le llama frecuentemente piritoedro. Los cristales de pirita son muy vistosos, no sólo por su perfección, sino por su bello color amarillo de latón y hermoso brillo metálico, aunque ambos caracteres desaparecen superficialmente por alteración de la pirita y conversión en limonita, que forma una costra negra. Se encuentra también en drusas y masas reniformes, concrecionadas y granulares. Por su mucha dureza da chispas con el eslabón. Es termoeléctrica y débilmente magnética. Generalmente contiene algo de níquel, cobalto, cobre, estaño, arsénico y aun oro y plata. Es mineral abundantísimo y muy repartido, lo mismo en filones que en rocas eruptivas y sedimentarias. En España, entre

otras muchas localidades, puede citarse Almadén. La pirita no sirve para la metalurgia del hierro, pues el obtenido de ellas es sumamente frágil, debido al arsénico que suele contener. Se emplea en cambio para la obtención del ácido sulfúrico y el residuo férrico como escorificador en metalurgia. Las piritas auríferas se emplean para la extracción de oro, y las cupríferas del cobre. Las pizarras piritosas se utilizan para obtener alumbre.

Esmaltina. $\text{As}_2 \text{Co}$ (*Cobalto gris, Cobalto arsenical*).—Regular, en cristales cúbicos hinchados o más generalmente en masas reticuladas o compactas. Generalmente posee hierro, níquel y azufre. Reacciones características del arsénico en los tubos y en el carbón; glóbulo magnético con reacciones del cobalto y metales que le acompañan. Soluble en el ácido nítrico. Por oxidación se transforma en Eritrina. Se encuentra en España, en Huesca y Asturias. Se emplea para la fabricación del azul cobalto.

Cobaltina. $\text{S}_2 \text{Co} + \text{As}_2 \text{Co}$ (*Cobalto gris*).—Cúbica, piritoédrica, en cristales o masas metálicas blanco-plateadas o con manchas rosadas (flores de cobalto) de Eritrina, por alteración. Reacciones análogas a la Esmaltina; pero en el tubo cerrado no da arsénico. Tiene las mismas localidades y aplicaciones que la Esmaltina.

Familia 2.^a, BILAMPRITOS RÓMBICOS.—**Marcasita.** $\text{S}_2 \text{Fe}$ (*Pirita blanca*). Rómbica, constituye la forma inestable del sulfuro de hierro, que es dimorfo. En cristales cortos, aplastados o maclados en *cresta de gallo*. Es muy alterable, vitriolizándose con facilidad por oxidación. Color amarillento o gris verdoso, debrillo vivo, que pierde al alterarse. Soluble en ácido nítrico, con las mismas reacciones del hierro que la Pirita. En Garlitos (Ciudad Real). Tiene las mismas aplicaciones que la Pirita.

Mispiquel. (Nombre con que le designaba Agrícola). $\text{S}_2 \text{Fe} + \text{As}_2 \text{Fe}$ (*Arsenopirita, Pirita arsenical*).—Rómbico en cristales o masas metálicas de color gris de acero o blan-

co plata, que da olor arsenical al golpear con el eslabón. En el carbón da el mismo olor y glóbulo magnético de hierro. En tubo cerrado, sublimado rojo y luego negro. Soluble en ácido clorhídrico, con separación de azufre y ácido arsenioso. Abunda en filones en los Pirineos.

Orden V.—Lampritos complejos.

—Así llamamos a los que son unión de lampritos de distinto orden y por tanto no isoformos, pero en los que no hay sulfidos. Admitiremos dos familias.

Familia 1.^a, SUBSESQUILAMPRIOS. $LM''_2 + L_3 M^{IV}_2$. —El sesquisulfuro de hierro con el sulfuro cuproso forma minerales interesantes llamados vulgarmente piritas de cobre por contenerle; color amarillo, más vivo que el de la Pirita e irizado. Son menos duros y menos densos, pero son más fusibles que la Pirita.

Bornita. $3S Cu_2 + S_3 Fe_2$ (*Erubescita, cobre abigarra-do, cuello de pichón*).—Casi siempre en masas muy vistosas, de un color del pardo rojo, con vivas irisaciones metálicas, azules y violetas. Al carbón se ennegrece y funde, dando glóbulo. Soluble en ácido clorhídrico. Se halla en diversas localidades españolas y se emplea para beneficio del cobre.

Calcopirita. $S Cu_2 + S_3 Fe_2$ (*Pirita de cobre*).—Tetra-gonal, con valores casi cúbicos. En cristales sencillos o macla-dos o en masas de color amarillo de oro, frecuentemente irisadas. Fusible al soplete y soluble en agua regia. La perla del bórax tiene color intermedio de la del cobre y hierro. Es el mineral del cobre más importante para su explotación. Se encuentra en Río Tinto (Huelva) y otras localidades, pues es mineral frecuente.

Familia 2.^a, PROTOSESQUILAMPRIOS. $LM'' + L_3 M^{IV}_2$. —Es-tán constituidos por el sesquisulfuro de hierro o cobalto, con el protosulfuro de cobre o del mismo metal.

Su constitución es análoga a la de los óxidos salinos, que

estudiaremos más adelante. Son cúbicos y no merecen una mención especial.

Orden VI.—Sulfosales. $L_3 M_2 + L_x M'_y$

Son uniones de sulfidos (sesquiampritos) con sulfuros de otros órdenes, y los dividiremos en tres grupos muy naturales, atendiendo al metal predominante. Dan las reacciones de los dos lampritos.

Familia 1.^a, SULFOSALES DE PLATA (Platas rojas y negras).— El subsulfuro de plata unido u los sulfidos, produce sulfosales de plata, de las cuales las principales son las siguientes:

Proustita. $3S_{Ag_2} + S_3 As_2$ (*Plata roja clara, Rosicler claro, Sulfoarseniuro de plata*). — Exagonal, romboédrica, en cristales prismáticos apuntados por el romboedro, o masas de color gris metálico por reflexión y rojo cochinilla por refracción, polvoroso. En el tubo cerrado da algo de sulfuro de arsénico en aureola, y al carbón un botón metálico frágil, en el que se reconoce la presencia del arsénico y de la plata. Se disuelve en el ácido nítrico, con depósito de azufre y ácido arsenioso. Se encuentran bellos cristales de este mineral en Chile, y en España, en Hiendelaencina (Guadalajara); se emplea para la obtención de la plata.

Pirargirita. $3 S_{Ag_2} + S_3 Sb_2$ (*Plata roja obscura, Rosicler obscuro, Sulfoantimoniuro de plata, Argiritrosa*) — Exagonal, romboédrica, en masas o formas cristalinas análogas al anterior, rojo púrpura por refracción y gris metálico por reflexión. En el tubo cerrado se funde y da sublimado rojo, y en el carbón da, más fácilmente que la proustita, el botón de plata pura; tiene localidades y aplicaciones análogas al anterior.

Miargirita. $S_{Ag_2} + S_3 Sb_2$. — Sistema monoclinico, en cristales o masas gris de acero y rojo después de pulverizadas; al tubo cerrado da las mismas reacciones que la pirargirita, y

también por vía húmeda; es menos rica en plata que las otras platas rojas.

A los sulfatos de plata corresponden también las llamadas platas negras, como la **Polibasita** y **Estefanita**, sulfoantimoniuros de plata rómbico, y la última exagonal mimética de las platas rojas, y la **Freislebenita**, sulfoantimoniuro de plata y plomo, monoclinica.

Familia 2.^a, SULFOSALES DE COBRE (Tetraedritas). La mayor parte de las sulfosales de cobre cristalizan en el sistema regular, hemiedría tetraédrica, por lo que reciben el nombre general de tetraedritas. Estos sulfoarseniuros y sulfoantimoniuros de cobre tienen generalmente plata, hierro, cinc, plomo y a veces mercurio, por lo que el número de especies es elevado.

Algunas sulfosales de cobre no son tetraédricas, como la **Bournonita**, $S_3 Sb_2 + S Cu_2 + 2 S Pb$, rómbica. Las principales tetraedritas, llamadas también *cobres grises*, son la **Tenantita**, $S_3 As_2 + 5 S Cu_2 + 2 S Fe$, cobre gris arsenical; y la **Panabasa**, $S_3 Sb_2 + 2 S Cu_2 + 2 S Ag_2$ o cobre gris antimonial.

Familia 3.^a, SULFOSALES DE PLOMO.—Forman un grupo muy natural de minerales casi siempre rómbicos y de composición muy homogénea, pues las muchas especies que se conocen parecen constituidas por la unión, en proporciones variables, de un sulfido con el protosulfuro de plomo (Galena)

CLASE IV.—OXIDOS

En esta clase, algo heterogénea, se incluyen los minerales binarios oxigenados, que están constituidos, por lo tanto, de oxígeno y otro elemento; cuando éste es el hidrógeno forma el grupo del agua; si es electronegativo, el de los anhídridos, y cuando es electropositivo los verdaderos óxidos, que de la misma manera que los lampritos, puesto que su constitu-

ción es sumamente análoga, los estudiaremos divididos en cuatro grupos (subóxidos, protóxidos, sesquióxidos y bióxidos.) También se estudian aquí las combinaciones de unos óxidos con otros, y especialmente la de los anhídridos con el agua o ácidos, la de los óxidos con el agua o hidratos y la de los protóxidos y sesquióxidos (óxidos salinos),

Orden I.—Hidroides. H₂ O

En este grupo se incluye el agua en sus tres estados, interesándonos especialmente en estado sólido y líquido, pues del gaseoso nada especial hay que decir en el orden mineralógico.

Hielo. H₂ O.—Exagonal, en masas esponjosas formadas por agrupaciones regulares radiantes, de cristales (*nieve*) o placas transparentes, en las que el eje óptico es perpendicular a ellas (*hielo*), en masas floriformes (*escarcha*), en agregados ovoideos de estructura fibroso-radiante (*granizo*), en formas estalactíticas, incrustantes o esponjosas, análogas a las de la caliza, en masas térreas (*firn*), o en agregados granudocompactos constituidos por cristales de nieve cementados por hielo (*hielo de los glaciares*). Transparente, generalmente incoloro, lustre vítreo. Frágil y plástico, pudiendo doblarse y amoldarse a todas las formas cuando se le obliga con una fuerza que no llegue a producir su rotura. Fractura concoidea, pudiendo soldarse los dos pedazos, sin más que aproximarlos.—Figuras exagonales de percusión. Se funde a 0° centígrados. Se forma a expensas del agua cuando desciende la temperatura, teniendo que ser tanto menor ésta cuanto mayor sea la cantidad de sales que contenga aquélla, las cuales rebajan su punto de congelación. Su distribución está sujeta, por tanto, a la de la temperatura, encontrándose en las altas latitudes y alturas, principalmente en la estación fría. En los mares polares, al sobrevenir el deshielo, se fractura en grandes *témpanos* de caprichosas formas. Este hielo

marino [no contiene sales más que cuando posee inclusiones.

Se emplea para producir descensos de temperatura mezclado con sal, para hallar el cero termométrico para determinaciones calorimétricas, para conservación de carnes y pescados, en Medicina, etc., etc.

Agua. H_2O .—Líquida, transparente e incolora en pequeñas masas; opaca, azul o verdosa en grandes cantidades, Tiene su máximo volumen a 4° centígrados. El agua de lluvia es pura, pero al caer y filtrarse en el suelo se carga de sustancias solubles, aumentando su densidad, que es de 1,0275 en la de mar. Estas sales son, principalmente, el cloruro sódico. magnésico y potásico; los sulfatos magnésico y calcico, carbonato cálcico y bromuro de magnesio, las cuales son reconocibles por los reactivos convenientes. Las aguas continentales poseen generalmente menos sales que las marinas, y las de los manantiales que las poseen en mayor cantidad que de ordinario, se llaman *aguas mincrales*, que pueden ser *saladas*, cuando predomina $Cl Na$; *alcalinas*, si el $CO_3 Na_2$ o $CO_3 K_2$; *crudas* o *duras*, si contienen $CO_3 Ca$, $CO_3 Mg$, $SO_4 Ca$; *ferruginosas*, cuando poseen sales de hierro; *agrias*, *carbónicas*, si contienen CO_2 ; *sulfhidricas* o impropriamente *sulfurosas*, si poseen SH_2 , y *radioactivas*, si poseen radioactividad, etc. Por su temperatura pueden ser: *frías*, si manan a la temperatura ordinaria; *termales*, si a mayor, y éstas suelen ser muy ricas en sales. Un agua mineral puede reunir a un tiempo varias cualidades,

Imposible detallar las innumerables aplicaciones del agua; citaremos como principales para la bebida (*aguas potables*, que cuecen legumbres y no cortan jabón), para el riego, las saladas de las marismas, para la extracción de la sal; las minerales en Medicina, etc.

Orden II.—Anhídridos. N_x O_y

Son combinaciones del oxígeno con los elementos electro-negativos: Se conocen nativos el anhídrido teluroso, Te O₂ (**Telurina**); el arsenioso, As₂ O₃ (**Arsenita** o **Arsenolita**); el antimonioso, Sb₂ O₃ (**Senarmontita**, **Valentinita** o **Exitela**); el piroantimonioso (**Cervantita**), y el silícico, único de que hemos de ocuparnos.

Cuarzo. Si O₂ (*Anhídrido silícico*).—Exagonal romboédrico. Cristales frecuentes constituidos generalmente por el prisma y la combinación de dos romboedros, que simula una pirámide exagonal, a veces acompañadas de caras meriédricas (fig. 59); en ocasiones falta el prisma, quedando reducidos a la pirámide exagonal (fig. 30). Son muy frecuentes las agrupaciones de cristales en grupos (figura 73), drusas, geodas y agrupaciones paralelas (fig. 74); así como las maclas de intrusión (fig. 59), formadas por dos individuos, a veces muy desigualmente desarrollados, moldeados en un cristal simple. Presenta la polarización rotatoria, existiendo cristales dextrógiros y levógiros, y a veces en un mismo cristal, como sucede en las maclas de intrusión, en que hay porciones dextro y levógiras.

Varietades macrocristalinas.—Son aquellas que se presentan generalmente cristalizadas, y sus diferencias se refieren sólo al color y otros caracteres secundarios. Son transparentes, de brillo vítreo. Las principales son: el *cristal de roca*, cuando es incoloro; el *cuarzo ahumado*, si está teñido por substancias carbonosas de obscuro, desapareciendo este color por la calcinación; *citrino*, *falso topacio* o *topacio de Hinojosa*, si es amarillo; *cuarzo hematoideo* o *jacinto de Compostela*, a los cristales rojos, generalmente en cristales sueltos y perfectos o en agrupaciones radiantes en forma de moras; *amatista*, cuando es violado, encontrándose generalmente revistiendo geodas. El cuarzo se presenta también en masas informes granulares, fibrosas, celulares, etc., y en di-

versas coloraciones debidas a inclusiones, por lo que reciben nombres especiales; *lácteo*, cuando es blanco; *rosado* o *rosa*, *prasio*, al verde, debido a la actinota; *ojo de gato*, cuando es

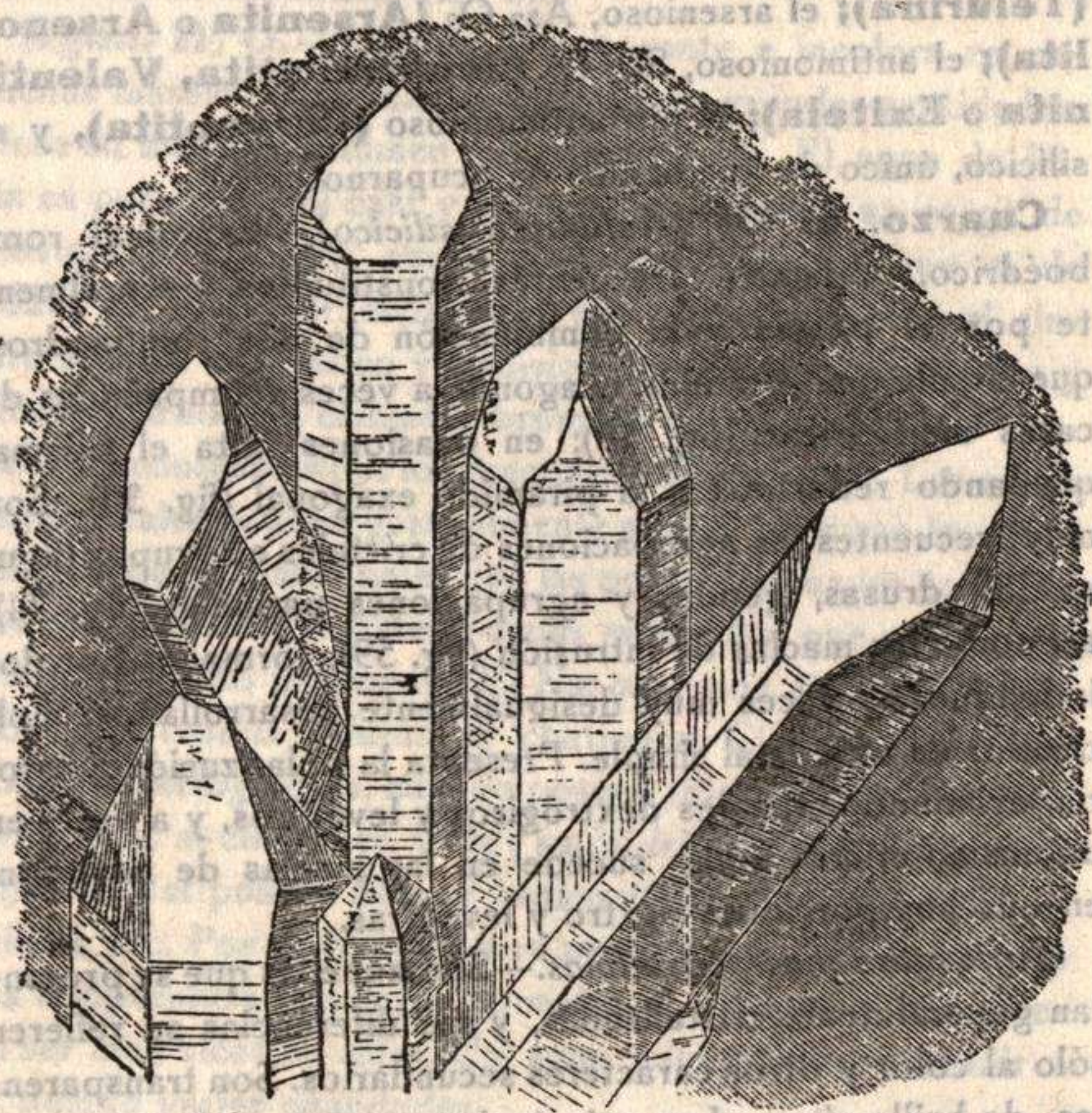


Fig. 73.

pardo, con lustrosas fibras sedosas incluídas y paralelas de amianto; y *aventurina* o *cuarzo aventurinado*, amarillo rojizo, con multitud de hojuelas doradas brillantes de mica. Algunos cristales de cuarzo poseen inclusiones cristalinas bien patentes (fig. 51), entre las que son frecuentes las inclusiones de turmalina, rutilo, en forma de finas agujas llamadas *cabellos de Venus*. A veces los cristales poseen placas de mica paralelas

a las caras de las pirámides, *cuarzo en capucha*, (fig. 52). El cuarzo común, llamado *cuarcita* o *guijarros*, está cristalizado de una manera confusa y establece el tránsito a las variedades microcristalinas.

Varietades microcristalinas.—Son aquellas que nunca se encuentran cristalizadas y se han considerado como mez-

clas de cuarzo cristalizado y sílice hidratada amorfa, pero recientes indagaciones cristalográficas parecen demostrar que estas variedades están formadas por sílice biáxica,

para la cual se ha propuesto el nombre específico de **Cuar-**
cina. Las principales varie-

dades son la **Calcedonia**, generalmente concrecionada y translúcida en toda su masa y en la cual se distingue la *cornalina* cuando es roja; la *sardónica*, más obscura y roja al trasluz; el *plasma*, si es verde; *helio tropo* o *jaspe sanguíneo*, cuando es verde con manchas rojas; *crisoprasa*, de color verde manzana; la *gutular*, en bolas translúcidas incoloras; y la *enhidra*, si poseen agua en inclusión.

Las calcedonias, en las que se distinguen zonas concéntricas diversamente coloreadas, reciben el nombre de **Ágatas**; y si los colores son vivos y ornamentales, **Ónices**.

Las variedades translúcidas solamente en los bordes y compactas son los **Sílex**, de los que se distinguen el *pirómaco*, *piedra de chispa* o *pedernal*, de fractura concoidea; el *córneo*, de fractura plana, la *piedra molar* o *de molino*, generalmente ferruginosa y de estructura careada, y el *xiloide* o *leñoso*, cuya estructura orgánica es bien reconocible.

Por último, el nombre de **Jaspe** se aplica a las varieda-

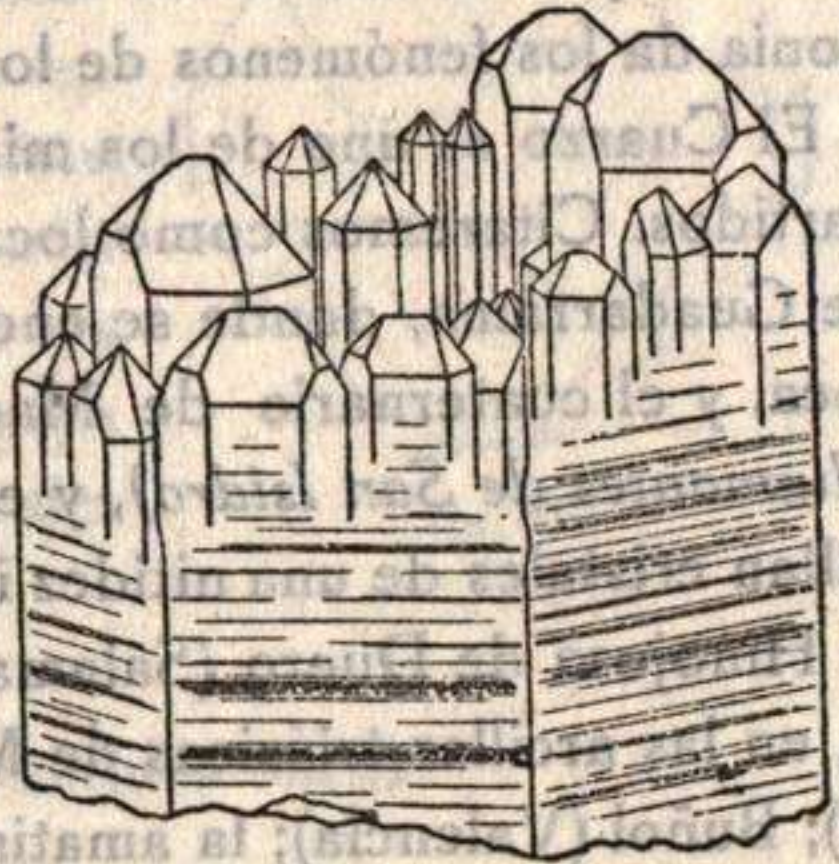


Fig. 74.

des más compactas, generalmente arcillosas opacas y de diversos colores. El negro se llama *jaspe lidio* o *lidita*.

Se encuentran, por último, el cuarzo, pseudomórfico de yeso fluorina y caliza, y es muy frecuente en las rocas, dando secciones regulares o irregulares con abundantes inclusiones líquidas, con vivos colores de polarización. La Calcedonia da los fenómenos de los esfero cristales.

El Cuarzo es uno de los minerales más abundantes y repartidos. Citaremos como localidades principales la sierra de Guadarrama, donde se encuentran hermosos cristales de roca, y el cuaternario de Madrid, donde los hay rodados (*diamantes de San Isidro*), y en Carrara (Italia), donde se hallan cristales de una nitidez incomparable; el falso topacio, en Hinojosa de Duero (Salamanca); el jacinto de Compostela, en las arcillas triásicas de Molina de Aragón (Guadalajara); Buñol (Valencia); la amatista y ágata, en el Brasil; silex, en París y Madrid, y el jaspe en Egipto.

Innumerables son las aplicaciones del cuarzo; cuando es puro se aplica para la fabricación del vidrio, la loza y la porcelana; el cristal de roca se emplea en óptica para la fabricación de lentes; en joyería se usa la amatista, venturina, ojo de gato, ónice, cornalina, sardónica y la crisoprasa; es pedernal, para producir fuego con el eslabón, y la piedra molar, en la construcción de ruedas de molino; en construcción ornamental, los jaspes, y la lidita, como piedra de toque para reconocer metales nobles; los guijarros, para el engravamiento de las carreteras, etc., etc.

Tridimita. Si O_2 . (*Anhidrico silícico*).—Triclínica; pseudorómbica y pseudoexagonal.

Cristobalita. (De San Cristóbal, Méjico.) Si O_2 . —Tetragonal, en octaedros pseudoregulares.

Orden III.—Subóxidos. $\text{M}_2 \text{O}$.

Se conoce una especie de este orden, que es la

Cuprita. $\text{Cu}_2 \text{O}$ (*Ziguelina, Cobrerojo oxidulado, Oxido cuproso.*)—Cúbica, en octaedros simples con tolvas (fig. 49) o combinados (fig. 75), o masas de color rojo y brillo metálico, alterado en la superficie, que es generalmente verdosa, por hidrocarbonatación, pero que aparece en la fractura. Se funde al soplete después de ennegrecerse, dejando un glóbulo de cobre. Soluble en los ácidos y en el amoniaco. Se emplea para la extracción del cobre, del que es la mena más rica.

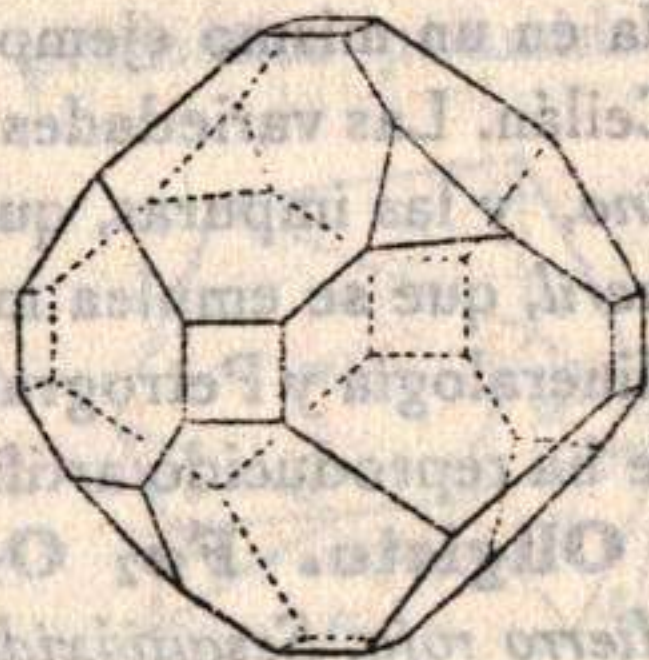


Fig. 75.

Orden IV.—Protóxidos. M O .

Son óxidos de metales didínamos o tetradínamos en átomo doble y doble ligadura.

Casi todos son cúbicos y ninguno merece una mención especial.

Orden V.—Sesquióxidos, $\text{M}_2 \text{O}_3$.

Grupo muy natural constituido por óxidos de los metales tetradínamos, en átomo doble y ligadura sencilla, y sus mezclas isomorfas. Son romboédricos.

Corindón. $\text{Al}_2 \text{O}_3$ (*Corundo, Zafiro, Sesquióxido de aluminio.*)—Exagonal romboédrico, en prismas cortos con el pinacoide, o largos y agudos con la pirámide con estrias transversas (fig. 47). Lustre vítreo, coloración muy variable. Policroico. Infusible al soplete, tomando color azul con el nitrato de cobalto. Insoluble; soluble después de fusión con bisulfato potásico por formación de alumbre. Lentamente soluble en la perla de bórax. Las variedades finas se emplean en joyería con los nombres de

zafiro, las azules; *rubí oriental*, las rosas; *topacio oriental*, las amarillas; *esmeralda oriental*, las verdes; *amatista oriental*, los violetas, y *zafiro blanco*, las incoloras. La coloración varía en un mismo ejemplar y por la calcinación. Se halla en Ceilán. Las variedades turbias se denominan *espato adamantino*, y las impuras, que contienen granos de magnetita, *esmeril*, que se emplea mucho en las artes por su dureza, y en Mineralogía y Petrografía para tallar placas al microscopio. Se ha reproducido artificialmente.

Oligisto. $\text{Fe}_2 \text{O}_3$ (*Hematites roja*, *Hierro oligisto*, *Hierro rojo*, *Sesquióxido de hierro*). Exagonal romboédrico, en hermosos cristales brillantes gris metálico, alguna vez irisados, en escamas menudas metálicas, adherentes a los dedos (*oligisto micáceo*), en grandes y brillantes láminas (*hierro especular*), o en masas fibrosas (*hematites fibrosa*); compactas, grises o rojizas (*hematites roja*), o terrosas (*ocre rojo*, *almazarrón*). Todas estas variedades, lo mismo las grises metálicas que las rojas, tienen el polvo rojo y son opacas. excepto reduciéndolas a láminas delgadas, que se hacen rojas. Infusible al soplete, haciéndose más magnético al fuego de reducción. Soluble lentamente en los ácidos. La localidad más importante en España es la de Somorrostro (Vizcaya). Se emplea para la obtención del hierro, El sesquióxido de hierro es dimorfo, existiendo bajo la forma cúbica en la **Martita**.

Orden VI.—Bióxidos. M O_2 .

Pertenecen a este orden los bióxidos de los metales tetradínamos en átomo sencillo.

Son tetragonales.

Rutilo. Ti O_2 (*Bióxido de titano*).—Tetragonal, en cristales prismáticos-piramidales, muy largos y frecuentemente maclados, formando la *macla en rodilla* (fig. 41): color pardo o rojo. Incluido en el cuarzo, se encuentra con frecuencia en la Sierra del Guadarrama. La **Anatasa** y la

Brookita son especies, la primera tetragonal y la segunda rómbica, del bióxido de titano, que es trimorfo.

Casiterita. Sn O_2 (*Estaño oxidado, Bióxido de estaño*). — Tetragonal, en cristales prismático-piramidales,

generalmente asociados dos, formando la *macla en visera* o *pico de estaño* (fig. 76), o en masas amorfas o fibrosas de apariencia leñosa (*estaño de madera*), de color pardo amarillento o negro y lustre craso. Transparente sólo en láminas delgadas. Infusible e inatacable por los ácidos; con la sosa al carbón da pajitas de estaño. Es mineral de filón, en donde se encuentra con cuarzo apatito, lepidolita, topacio, fluorina y otros minerales, siendo de notar que casi todos los que le acompañan son fluorados, por lo que se supone que su formación es debida a la descomposición por el agua del fluoruro de estaño: el ácido fluorhídrico que queda libre es el que ha dado lugar a los minerales fluorados que le acompañan. En Inglaterra, y en España, en Galicia y Salamanca. Es la mena del estaño.

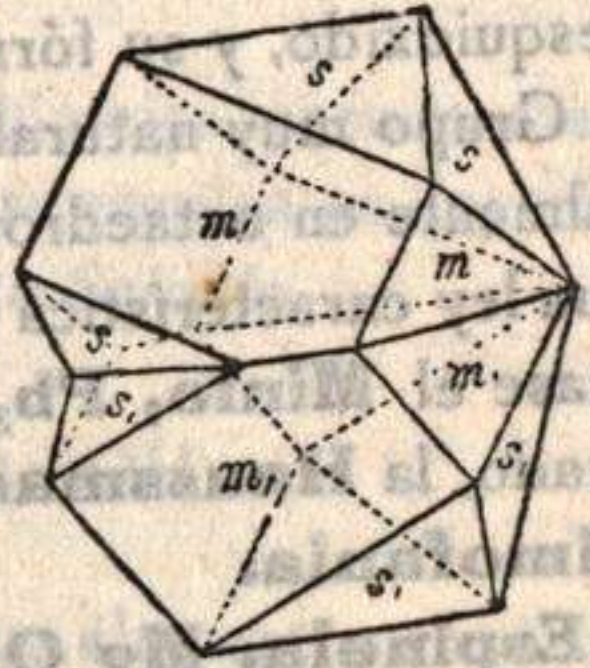


Fig. 76.

Pirolusita. Mn O_2 (*Manganesa negra, Jabón de vidrieros, Bióxido de manganeso, Polihanita*). — Tetragonal, muy frecuente en cristales rómbicos pseudomórficos de acerdesa o en masas negras o dentríticas, que tiznan los dedos, opacas, de lustre metálico. Infusible, pero aviva la llama por desprender O. Perla violeta. Soluble en ácido clorhídrico, con desprendimiento de cloro y reacciones de manganeso. Cartagena, Covadonga, etc. Para la preparación del cloro e hipocloritos; se usa mucho en Química y para decolorar el vidrio.

Orden VII,—Oxidos salinos. $MO + M'_2 O_3$.

Así se llama a los que resultan de la unión de un protóxido, y un sesquióxido. Su fórmula es, pues, $MO + M'_2 O_3$; en ocasiones el metal del protóxido es el mismo que el del sesquióxido, y su fórmula se reduce a $M_3 O_4$.

Grupo muy natural de minerales isomorfos cúbicos, generalmente en octaedros sencillos (fig. 21) o maclados, según una ley característica del grupo (ley de las espinelas). Exceptúase el **Minio**, $Pb_3 O_4$ que no se ha encontrado cristalizado, la **Haussmannita**, $Mn_3 O_4$ que es tetragonal, y la **Cimofania**.

Espinela. $Mg O + Al_2 O_3$ (*Rubi, Aluminato de magnesia, Oxido magnésico aluminico*). Cúbico. En octaedros sencillos o maclados, de lustre vítreo muy vivo y color rojo (*Rubi espinela*), rosa (*Rubi balaje*), amarillo (*Rubicela*), verde (*Cloroespinela*), azul (*Ceylanita*), negro (*Pleonasta*), amarillento obscuro (*Picotita*). In fusible; las rojas varían de color por la calcinación, pero le recobran por enfriamiento. Inatacable por los ácidos. Las variedades nobles se hallan en Ceilán. En España hay picotita en rocas de Guadarrama. Se emplea en joyería como piedra de gran valor. Meunier ha reproducido el rubí artificialmente haciendo actuar el cloruro aluminico y el vapor de agua sobre un hilo de magnesio calentado al rojo, y hoy día los rubíes sintéticos son artículo corriente en joyería.

Magnetita. $Fe O + Fe_2 O_3 = Fe_3 O_4$ (*Piedra imán, Imán natural, Hierro magnético, Ferrato ferroso, Oxido ferroso férrico*).—Cúbica en octaedros simples o trunclados (fig. 7), o maclados según la ley de las espinelas, o masas metálicas de color negro, magnéticas y alguna vez con magnetismo polar. Muy difícilmente fusible, perdiendo a la llama oxidante el magnetismo. Lentamente soluble en el clorhídrico, con las reacciones del hierro. Muy común en las rocas volcánicas, en donde se distinguen al microscopio sus

secciones opacas y regulares. Se encuentra formando verdaderas montañas y muy repartida en las rocas modernas volcánicas y en yacimientos secundarios, formando arenas magnéticas. Se emplea en la metalurgia del hierro.

La magnetita cromífera constituye la **Cromita** o hierro cromado, también cúbica y octaédrica.

Cimofania. $\text{Gl O} + \text{Al}_3 \text{O}_2$.—Rómbica pseudo-exagonal, en cristales verdes amarillentos; se emplea en joyería con el nombre de *Crisoberilo* y *Berilo de Sajonia*.

Orden VIII.—Acidos. $\text{N}_x \text{O}_y (\text{OH})_z$

Son los compuestos hidroxílicos de los elementos electro-negativos. Solamente se encuentran libres en la naturaleza los más estables, y al mismo tiempo los más inactivos.

Familia 1.^a, BÓRICOS.—Sasolina. $\text{B} (\text{H O})_3$ (*Acido bórico, Acido ortobórico*).—Triclínico, generalmente en escamas nacaradas de contorno exagonal o masas estalactíticas escamosas por evaporación del agua de los Lagoni de Toscana, que le contiene. Sabor ácido. Soluble en el agua y en el alcohol, comunicando color verde a la llama de éste. Se emplea en Medicina como antipsético débil y para preparar el bórax y anhídrico bórico.

Familia 2.^a, SILÍCIDOS.—Opalo. $x (\text{SiO}_2) + y (\text{H}_2\text{O})$ (*Acido silícico*).—Amorfo y de constitución química no definida, resultado de la desecación de la sílice gelatinosa. En masas arriñonadas, nodulosas o estalactíticas. Lustre craso o vítreo, frágil (fractura concoidea). Da agua en el tubo cerrado. Decrepita al soplete y se disuelve en la potasa cáustica. El de colores vivos y de bellos reflejos, se emplea en joyería con el nombre de *ópalo noble*, y cuando blanco, *ópalo lechoso*; el de colores rojos se denomina *girasol* u *ópalo de fuego*. Las variedades de poco brillo y colores apagados se denominan *semiópalo* u *ópalo común*, como la *resinita*, amarillenta; el *cacholongo*, en riño-

nes aporcelanados; el *hidrofano*, que se hace transparente por la sumersión en el agua; la *menilita*, en riñones concrecionados; el *silex nectico*, tan ligero, que flota en el agua; el *jaspe ópalo*, opaco y ferruginoso; el *jilópalo* u *ópalo leñoso*, pseudomórfico de madera; el *trípoli* o *harina fósil*, constituido por la acumulación de caparazones de algas diatomáceas; la *geiserita*, gutular, que forma el brocal de los géiseres, y la *hialita*, transparente y vítrea, con numerosas fisuras. Se emplean los ópalos nobles y el girasol en joyería, viniendo buenos ejemplares de Méjico, y el trípoli para pulir metales y para la fabricación de la dinamita, utilizando su propiedad absorbente como vehículo de la nitroglicerina.

Orden IX.—Hidratos. $M_x O_y (HO)_z$

Son compuestos hidroxílicos de los metales, o sea combinaciones de los óxidos con el agua. Se reconocen porque dan agua en el tubo cerrado. Los más importantes son los hidratos de sesquióxido de aluminio (**Diasporo**, $Al_2 O_2 (OH)_2$; **Beuxita**, $Al_2 (OH)_4$, e **Hidralgilita**, $Al (OH)_3$); de manganeso (**Acerdesa**, $Mn O_2 (OH)_2$) y de hierro (**Goetita**, $Fe_2 O_2 (OH)_2$, y **Limonita**, $Fe_4 O_3 (OH)_6$).

Acerdesa. $MnO_2 (OH)_2$ (*Manganita*). Rómbica, generalmente en cristales prismáticos acanalados a masas columnares (fig. 77) más duras que la pirolusita lo cual es paradójico pues los minhidratados son en general menos duros que los anhidros.

Beauxita. $Al_2 (OH)_2$ (*Hidrato tetrácido de aluminio*). Generalmente mezclada con arcilla y óxido de hierro. Blancuzca, granuda, difícilmente soluble en ácido clorhídrico. Se halla en Beaux (Francia), y es importante por ser la mena del aluminio.

Limonita. $Fe_4 O_3 (OH)_6$. (*Hematites parda. Hierro pardo, Exasesquihidrato de hierro*).—No cristaliza, presentándose amarillento-negrucza, alguna vez metáli-

ca, pero su polvo es amarillento, lo que la distingue del oligisto, que es rojo. Soluble en los ácidos, dandolas reacciones del hierro. Las principales variedades son: la *fibrosa*, que tiene esta estructura, a veces radiante, por ser concrecionada o estalactítica, negra brillante y a veces irisa-

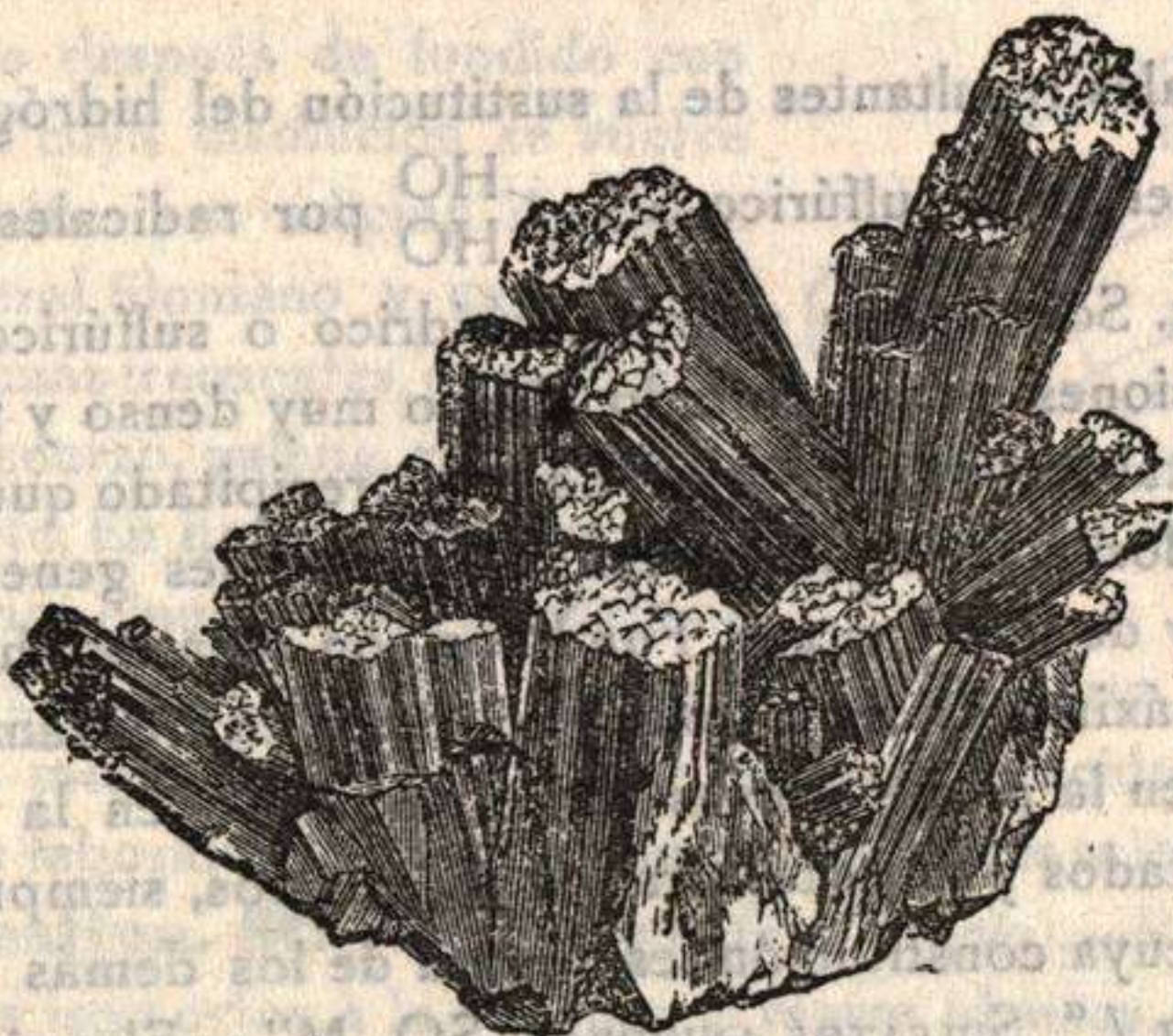


Fig. 77

da; la *ocrácea* u *ocre de hierro*, porosa, amarillenta, generalmente arcillosa. Es común también su formación en pantanos y tuberas (*hierros de los pantanos*), la *pisolítica*, en esferillas aglutinadas por un cemento, y las *piedras de águila*, en nódulos, que por estar contraído su núcleo, queda holgado y suena cuando se le agita; la *compacta*, etc. Es sumamente abundante, pudiendo citarse como localidades principales, en nuestra Península, Bilbao, Mazarrón (Murcia), etc. Se emplea para la obtención del hierro y los ocre en pintura.

CLASE V.—SULFATOIDES. $\text{NO}_4 \text{M}''$

Aquí se incluyen las sales de los ácidos de forma $\text{NO}_4 \text{H}_2$, comprendiendo, por tanto, los sulfatos, cromatos, tungsta-

tos, molibdatos, etc. Es una clase muy homogénea, por lo que la división en órdenes la estableceremos, sencillamente, atendiendo al ácido.

Orden I.—Sulfatos. SO₄ M''

Son sales resultantes de la sustitución del hidrógeno oxidrílico del ácido sulfúrico $SO_2 < \begin{matrix} HO \\ HO \end{matrix}$ por radicales electropositivos. Solubles en agua, clorhídrico o sulfúrico, dando sus soluciones un precipitado blanco muy denso y fácilmente decantable, con el cloruro bórico, precipitado que es insoluble en los ácidos minerales. Son minerales generalmente pétreos y de lustre vítreo. Fundidos con sosa dan hepar. Su dureza máxima es de 4. Los dividiremos en tres familias, colocando en la primera los sulfatos anhidros, en la segunda los hidratados y en la tercera los aluminosos, siempre hidratados, y cuya constitución les separa de los demás sulfatos.

Familia 1.^a. SULFATOS ANHIDROS. SO₄ M''.—El metal puede ser mono di o tetradínamo. Menos la Glauberita, todos son rómbicos.

Anhidrita. SO₄ Ca (*Karstenita, Sulfato cálcico, Yeso anhidro*). — Rómbica, generalmente en masas espáticas granulares, bacilares o compactas; vítreas o nacaradas, blancas, pasando generalmente a grises. Al soplete se funde muy difícilmente en esmalte blanco, pero se obtiene fácilmente su fusión por medio de la fluorita. Da hepar. Soluble lentamente en ácido clorhídrico, dando las reacciones del calcio y del ácido sulfúrico. Se transforma, por la acción del agua o sencillamente la humedad atmosférica, en yeso, aumentando el volumen. Su principal localidad son los yacimientos salíferos, como Stassfurt. Algunas variedades se usan en escultura, unida al yeso, en construcción y agricultura.

Baritina. SO₄ Ba (*Espato pesado, Sal de lobo*).

Sulfato bárico)—Rómbica, en cristales domáticos (figura 78) o tabulares por predominar las dos caras del pinacoide básico o masas generalmente blancas de lustre vítreo. Decrepita y se funde fácilmente. Sumamente insoluble sólo en el sulfúrico concentrado después de fundido con sosa, de cuya disolución se vuelve a precipitar por adición de agua. Es mineral filoniano y una de las gangas más frecuentes, generalmente con cuarzo, galena, minerales de plata, etc. En España, en Almadén, teñida por cinabrio; en Hiendelaencina y Sierra Almagrera, con minerales de plata. Se usa en pintura mezclada con albayalde, en la fabricación del papel y en los laboratorios para la fabricación de las sales de bario.

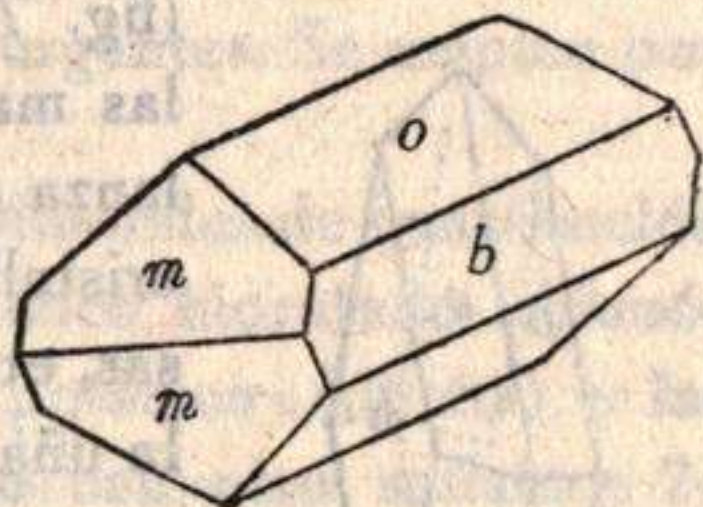


Fig. 78.

Celestina. $\text{SO}_4 \text{Sr}$ (*Sulfato de estroncio*).—Rómbica en cristales isomorfos a la baritina, o masas blancas, alguna vez azules (y de aquí su nombre); vítreo y policróico. Decrepita y se funde difícilmente sin adición de sosa, con la cual da hepar. Insoluble. En yacimientos sedimentarios modernos, asociada generalmente al azufre, en Conil y Hellín. Se emplea para la obtención de las sales de estroncio, muy usadas en pirotécnica.

Anglesita. $\text{SO}_4 \text{Pb}$ (*Sulfato de cobre*).—Rómbica, y también isomorfa. Incolora o blanca, con lustre adamantino. Decrepita y funde al carbón. Soluble en ácido nítrico, con las reacciones del plomo. Asociada a la galena, de la cual es frecuentemente un producto de alteración por oxidación, en Linares (Jaén) y Sierra Almagrera (Almería).

Familia 2.^a, SULFATOS HIDRATADOS.— $\text{SO}_4 \text{M}'' + x\text{H}_2\text{O}$.—El metal puede también ser mono di o tetradínamo. Hay además mezclas isomorfas. Se conocen por dar agua en el tubo cerrado.

Los sulfatos de los metales pesados (**Goslarita, Cal-**

cantita, Melanterita, etc. de **Zn, Cu y Fe** respectivamente), se reúnen con el nombre genérico de *Vitriolos*.

Yeso. $\text{SO}_4 \text{Ca} + 2 \text{H}_2 \text{O}$ (*Selenita, Sulfato cálcico hidratado*)—Monoclínico. Cristales tubulares, con exfoliación muy fácil, según el ortopinacoide, que es la cara más desarrollada



Fig. 79.

(fig. 79). Muy frecuentes las maclas en flecha y en lanza (fig. 80) y las masas cristalino-espáticas, fibrosas, etc., que se rayan con la uña. Incoloro o diversamente teñido, generalmente de color melado. Polvo blanco y lustre vítreo. Decrepita y blanquea al soplete, exfoliándose y fundiéndose fácilmente, si

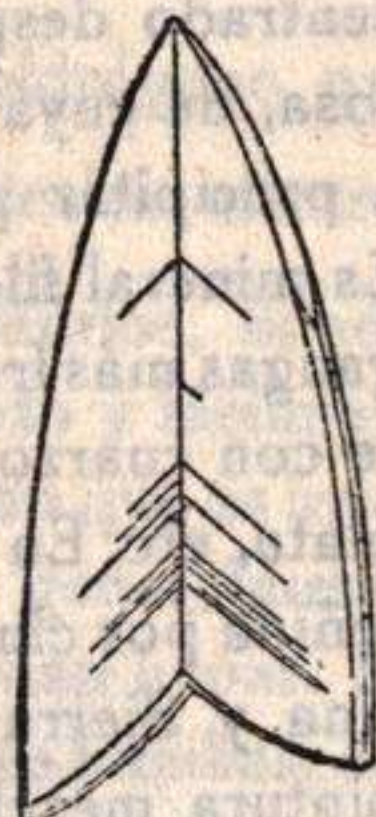


Fig. 80.

se pone con fluorita, en vidrio transparente que se hace opaco por enfriamiento. Algo soluble en agua; aunque muy poco, atacable por los ácidos. El nombre de *selenita* y *espejo de asno* se da preferentemente a las variedades cristalizadas o espáticas: *alabastro de yeso* o *alabastrites*, a las sacaroideas; *escayola*, a las compactas; también merecen citarse las fibrosas con sedosos reflejos. Es mineral muy abundante en terrenos modernos estratificados, y se emplea mucho en construcción después de triturado y calcinado a más de 100° para que pierda los $\frac{3}{4}$ de su agua de cristalización, que recobra al ser humedecido, fraguando entonces. A 200° pierde toda el agua y pierde su aptitud de endurecerse. Se emplea también en Cirugía, y en Agricultura como abono. Para las Bellas Artes es poco apreciado, aun las variedades vistosas, por su débil dureza.

Epsomita. $\text{SO}_4 \text{Mg} + 2 \text{H}_2 \text{O}$ (*Sal amarga, Sal de Higuera Sal de Calatayud, Sulfato magnésico hidratado*).—Rómbica, en cristales finos y muy alargados, y más generalmente en

agujas blancas y sedosas. Soluble, con sabor salado amargo, eflorescente. Se funde, convirtiéndose en masa infusible. En el tubo cerrado da agua, y sus soluciones las reacciones características. En las cuevas de Calatayud, pendiendo del techo, se forma en abundancia, especialmente los años secos.

La contienen las aguas minerales purgantes. Se emplea por esta virtud.

Familia 3.^a, SULFATOS ALUMINOSOS.—Minerales de constitución especial. Se conocen el sulfato aluminico hidratado (Alunógeno), un sulfato básico aluminico potásico (Alunita), y las combinaciones del sulfato aluminico con otro sulfato y 24 moléculas de agua, denominadas *Alumbres*.

Orden II.—Metalatos. $MO_4 M'$

Incluimos en este grupo las sales de radical electro-positivo, cuya constitución es idéntica a la de los sulfatos.

En este grupo se encuentran muchos minerales llamados de las tierras raras porque poseen Tungsteno, Molibdeno, Vanadio, Itrio, Cerio, Niobio, Urano, Tántalo, Lantano, Didimio, etc.

Wolfram. $WO_4 Fe$ (*Tungstato de hierro, Scheelita ferrifera*).—Monoclínico, generalmente en masas laminosas, negro-metálicas muy densas y ricas en Mn. Muy apreciado para la fabricación del acero tungstado.

CLASE VI.—NITROIDES.

Comprende esta clase las sales de los ácidos de metaloides tridinamos. Su constitución no es homogénea, lo que justifica su división en órdenes y hace que no pueda asignárseles una fórmula general.

Orden I.—Nitratos. NO₃ M'

Resultan de la sustitución del hidrógeno del ácido nítrico NO₂—OH por metales. Son de aspecto salino, solubles en agua, deflagran sobre las ascuas y explotan cuando se les calienta con cianuro potásico.

Nitro. NO₃ K (*Sal piedra, Salitre, Nitrato potásico.*)—Rómbico, cristales prismáticos incoloros, de sabor salado fresco. Colora la llama de violeta. Se encuentra en forma de eflorescencias blancas en las rocas calizas, y antiguamente se imitaban para obtenerle, sus condiciones de formación en las *nitrerías*. Se emplea en la preparación de la pólvora, como oxidante y fundente, y en Medicina.

Nitratina. NO₃ Na (*Nitro cúbico, Nitrato de Chile, Caliche, Nitrato sódico.*)—Exagonal romboédrico, en romboedros casi cúbicos, y de ahí su nombre, incoloros, de sabor fresco alcalino. Colora la llama de amarillo. Se encuentra en abundancia en diversas regiones de la América meridional. Se emplea como abono y para la obtención del nitro.

Orden II.—Fosfatos. (PO₄)_x M_y.

La mayor parte de los fosfatos naturales son ortofosfatos, por lo que su constitución se obtiene reemplazando el hidrógeno del ácido ortofosfórico por los metales PO—(OH)₃. Se reconocen sus soluciones por precipitar en amarillo cristalino por la solución nítrica del molibdato amónico, dar precipitado amarillo soluble en ácido nítrico con el nitrato de plata y ser frecuentemente cloro o fluorados.

Apatito. (PO₄)₃ Ca₃ (Cl Fl) (*Ortofosfato cálcico, cloro y fluorado.*)—Exagonal, cristales prismáticos apuntados por la pirámide o truncados por el pinacoide, probablemente rómbicos miméticos, verdes o violetas o excepcionalmente grises, amarillos o rojizos y policróicos. Fosforescente, principalmente las variedades terrosas. Difícilmente fusible. Ata-

cable por el ácido nítrico, dando las reacciones de los fosfatos y además del cloro. La variedad cristalizada de color verde espárrago, se denomina *esparraguina*; la compacta o concrecionada, *fosforita*; la que proviene de excrementos, *guano* si es de aves marinas, y *coprolitos* si de murciélagos. Se encuentra con frecuencia el apatito, en cristales microscópicos, en las rocas ígneas, dando secciones uniáxicas con líneas de fractura básica, generalmente incluídos en otros minerales y con vivos colores de polarización. Hay bellos y hermosos cristales de esparraguina en Jumilla (Murcia) y Logrosán (Cáceres), y en Zarza la Mayor y otros pueblos de Cáceres se encuentra la fosforita. La localidad clásica del guano son las Islas Chinchas (Perú). Se emplea como un abono estimadísimo.

Piromorfita. $(\text{PO}_4)_6 \text{Pb}_{10} (\text{Cl Fl})$ (*Plomo verde; Ortofosfato plumboso, cloro o fluorado*).—Exagonal, isomorfa con el apatito. En los cristales domina el prisma exagonal y el pinacoide básico y son frecuentes las masas aciculares; el color oscila del verde al obscuro, no siendo raro el amarillo; lustre resinoso; fusible al soplete en perla gris, que por enfriamiento toma forma poliédrica, carácter que ha dado nombre al mineral; acompaña a la galena en algunas localidades de ésta, como en Horcajo (Ciudad Real).

Turquesa. $(\text{PO}_4 \text{Al}_2 \text{O}_3)_2 + 5 \text{H}_2 \text{O}$ (*Calaita*).—Se presenta en masas compactas de un bello azul pálido y a veces algo verdoso, formadas por la agrupación de pequeños granos birrefringentes; en el tubo cerrado da agua, decrepita y se ennegrece. Las mejores turquesas vienen de Nischapur, al Noroeste del Herat, pero las hay también en Méjico y en Egipto. Se imita comprimiendo el precipitado de fosfato aluminico, y se venden también como turquesas las variedades de origen orgánico que proceden de huesos fósiles y se conocen con el nombre de *Odontolita*.

Orden III.—Arseniatos. As O₄ M^{'''}.

Son sales del ácido arsénico, As O₄ H₃, y proceden de la alteración de los arseniuros metálicos filonianos; los principales son: la **Eritrina** que resulta de la alteración de la esmaltina y cobaltina, tiene color rosa y forma lo que los mineros llaman las flores del colbato, que sirven para reconocer las menas de dicho metal; la **Annabergita** que forma manchas verdes en la niquelina, llamadas flores de níquel.

Orden IV.—Boratos. B_x O_y M_z.

Son minerales boríferos, siendo los principales el **Bórax** o *tinkal*, 2 B₂ O₆ Na H₅ + H₂ O, monoclinico, y la **Boracita**, B₁₆ O₃₀ Mg₇ Cl₂, en cristales aparentemente del sistema cúbico formados de subindividuos rómbicos.

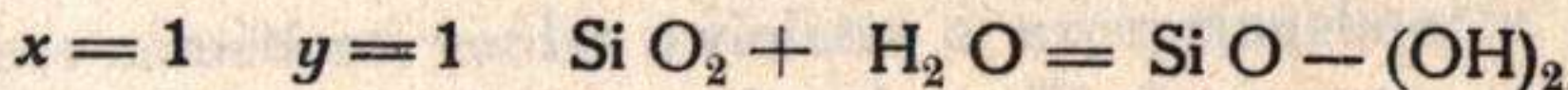
CLASE VII.—SILICOIDES.

Los minerales de esta clase son combinaciones salinas del silicio, y su estudio es de un gran interés, no sólo práctico por haber entre ellos minerales muy útiles y buscados, sino, sobre todo, bajo el punto de vista científico, por ser los principales elementos de las rocas ígneas y jugar un esencial papel en la composición de la corteza terrestre. El silicio representa en la tierra un papel análogo al del carbono en el cuerpo de los seres orgánicos.

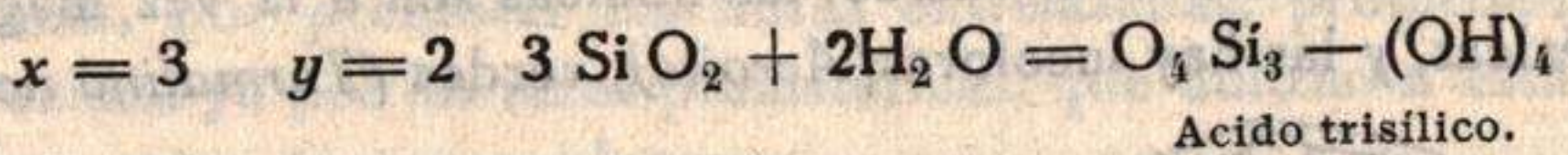
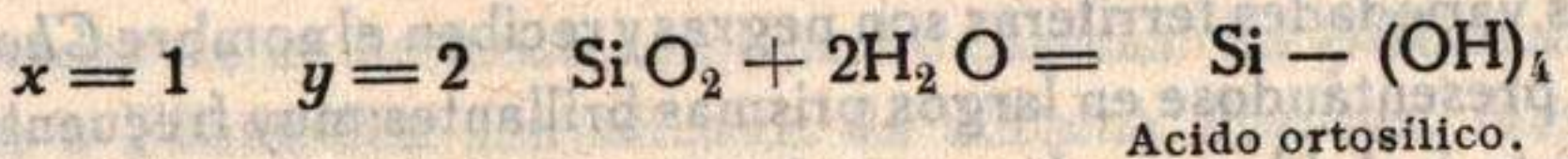
Se conocen muchos ácidos silícicos, que podemos representar por la fórmula



Mas la mayor parte de los silicatos naturales derivan de uno de los tres ácidos siguientes:



Acido metasilico.



Todos los minerales siliciatados son, pues, o metasilicatos u ortosilicatos, y más rara vez trisilicatos.

Se presentan en cristales, microlitos o masas vítreas, formando parte casi siempre de las rocas de origen ígneo, y se reconocen con la perla de la sal de fósforo y demás reacciones de los silicatos.

El aluminio juega un gran papel en la constitución de la mayor parte de ellos.

El grupo de los silicatos es el que más se presta a la formación de las familias naturales, que han sido formadas ya por los primeros mineralogistas y son todavía universalmente aceptadas por todos.

Orden I.—Titanolitos.

El principal mineral de esta familia es la *Esfena*.

Esfena. (*Silico titanato de calcio*). **Si O₃ Ca Ti.**—Monoclínico, en cristales cuneiformes, a los que debe el nombre, que se encuentran en las rocas eruptivas y se reconocen bien al microscopio por su fuerte pleocroísmo, borde muy marcado y débiles colores de polarización.

Orden II.—Turmalinas.

Las Turmalinas son ortosilicatos boríferos de alúmina, generalmente con fluor y siempre con gran número de elementos electro-positivos (Hierro, Manganeso, Calcio, Magnesio, Potasio, Sodio y Litio)

Cristalizan en el sistema exagonal romboédrico en cristales hemimórficos, (fig. 81) termoelectríficos y muy policróicos.

Las variedades ferríferas son negras y reciben el nombre *Chorlo*, presentándose en largos prismas brillantes muy frecuentemente incluidos en el cuarzo; las litínicas son a la vez magnéticas, y las hay incoloras (*Acroita*), verdes (*Turmalina no-*

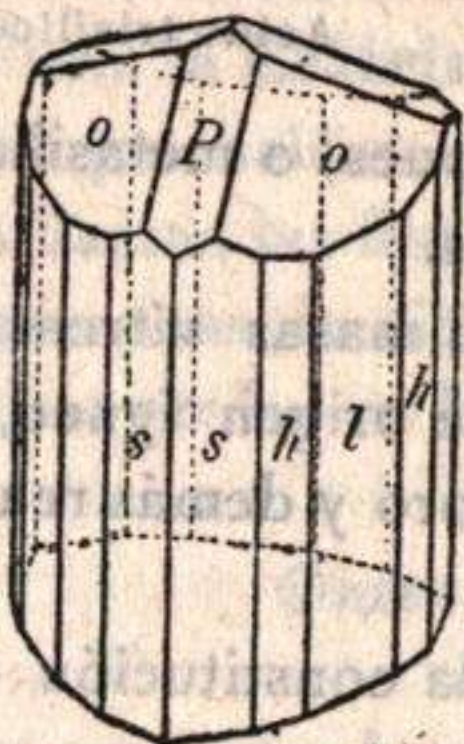


Fig. 81.

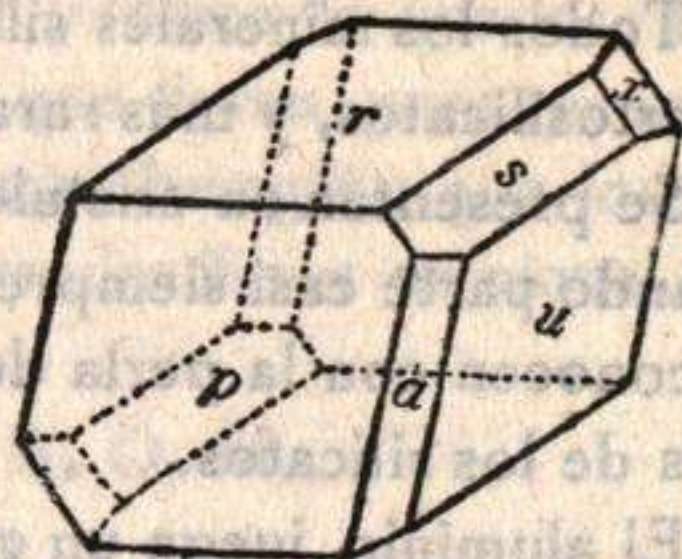


Fig. 82.

ble), rojas (*Rubelita*), o azules (*Indicolita*). Dificilmente fusibles y atacables. En las preparaciones se reconocen por la forma triangular o hemimórfica de las secciones de sus cristales, su policroísmo intenso y sus colores de polarización muy vivos.

A las turmalinas pueden unirse otros ortosilicatos boríferos, como la **Axinita** triclinica (fig. 82) y la **Damburita** rómbica, en las cuales el boro funciona libre y no unido al oxígeno como en las turmalinas, formando el radical monovalente $(BO)'$, borilo.

Orden III.—Andalucitas.

Se conocen dos silicatos de aluminio de fórmula SiO_3Al_2 , el uno rómbico o **Andalucita**, y el otro monoclinico o **Distena**.

Los cristales de **Andalucita**, verdosos, rojizos o grises, se encuentran en las rocas con líneas de exfoliación y colores de polarización muy vivos. La variedad **Quiastolita** o **Macla** presenta inclusiones regularmente distribuidas (fig. 50). La **Distena** o **Cianita** se presenta en masas

acintadas de un hermoso color azul o blancas. La **Sillimanita** o **Fibrolita** son silicatos de alúmina fibrosos, muy tenaces, por presentar sus fibras entrelazadas, propiedad apreciada ya por las razas prehistóricas, que utilizaron esta última antes de conocer los metales para la confección de sus armas. Al microscopio dan fenómenos de agregado. La **Estaurolita**, que debe su nombre a presentar sus cristales rómbicos pardo-oscuros maclados en cruz (figs. 83 y 42), es un silicato aluminico con hierro y magnesia, análogo a estos minerales.

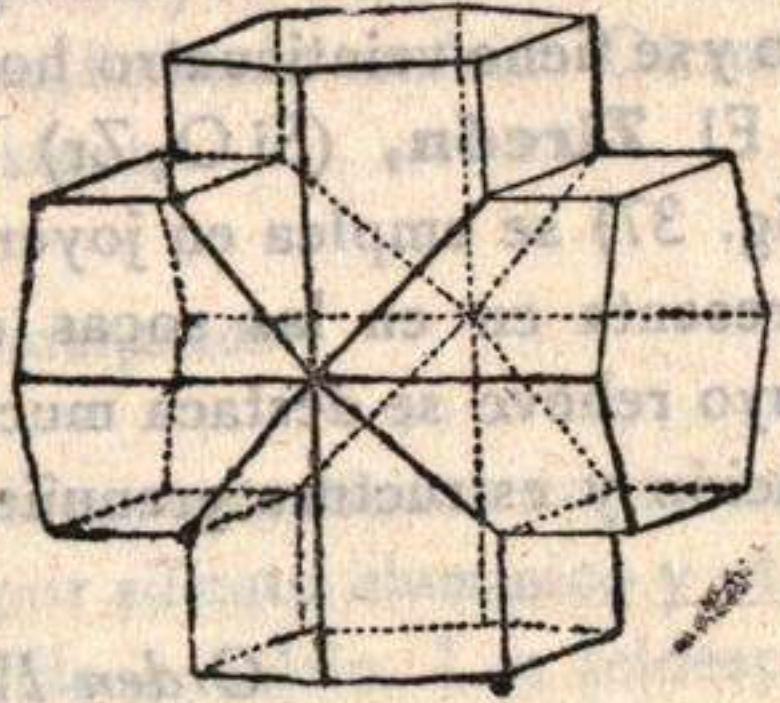


Fig. 83.

El **Topacio**. Silicato aluminico fluorado, se presenta en cristales rómbicos prismáticos con exfoliación básica muy fácil, incoloros o más generalmente amarillos, que se vuelven rojos por la calcinación (topacio quemado). Infusible e inatacable, es mineral apreciado como piedra preciosa. Abunda en el Brasil. Sus secciones aparecen al microscopio limpidas, con trazas paralelas de exfoliación y colores de polarización muy vivos.

La **Esmeralda** (*Berilo*), Es un metasilicato de aluminio y glucinio que cristaliza en prismas exagonales (fig. 34), con la base; probablemente rómbico, pero mimético exagonal. El nombre de esmeralda se reserva para la variedad verde intenso, que es la más estimada; la verde azulada se denomina *agua marina* y las blancas y amarillas (berilo), que no son utilizables en joyería, se destinan a la obtención de las sales de glucinio o berilio. La esmeralda es conocida desde la más remota antigüedad, y sus minas de Zabacah, a orillas del Mar Rojo, explotadas 1650 años antes de J. C.; son notables los hermosos cristales procedentes de Colombia, descubiertos por los españoles en 1537. El precio de la esme-

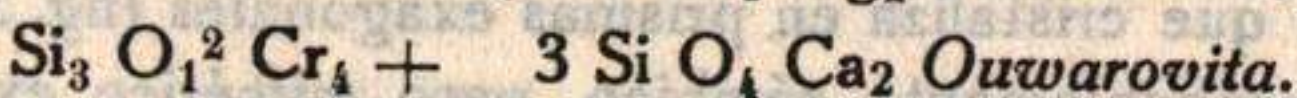
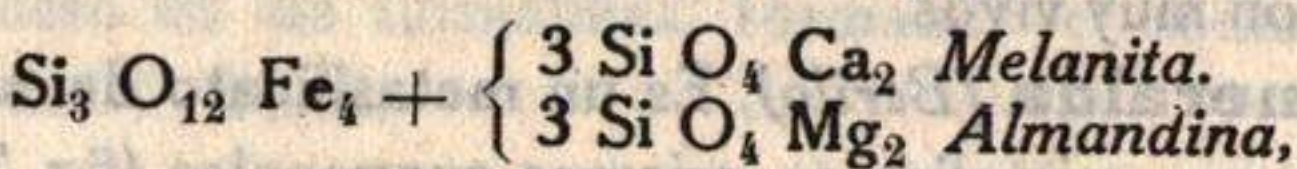
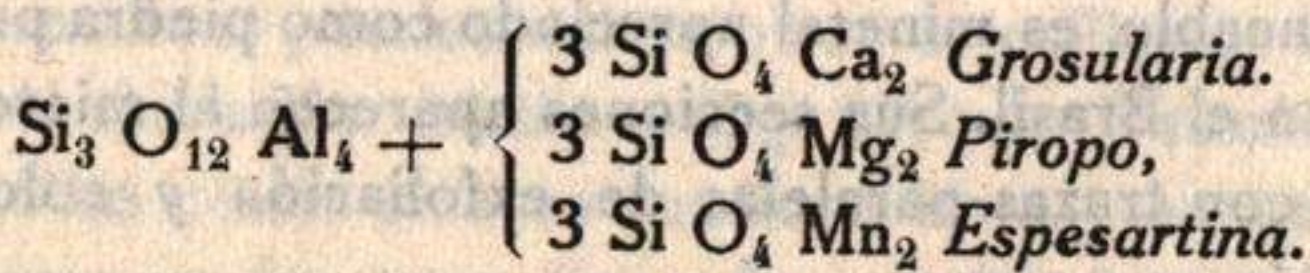
ralda ha bajado mucho por haberse descubierto, como de casi todas las piedras finas, su reproducción artificial. Según el procedimiento de de Hautefeuille, se obtiene poniendo en un crisol 11,506 de sílice, 3,58 de alúmina y 2,64 de glucina. Se recubre la mezcla de 92 gramos de molibdato ácido de litio y se tiene veinticuatro horas al rojo sombra.

El **Zircón**, ($\text{Si O}_4 \text{ Zr}$) en cristales tetragonales rojos (fig. 37) se emplea en joyería con el nombre de *Jacinto* y se presenta en en las rocas en pequeños cristales incluidos, cuyo relieve se destaca mucho, con vivos colores de polarización y estructura granujienta.

Orden IV,—Granates.

Los minerales de este grupo son ortosilicatos de un metal tetravalente, funcionando como trivalente (Aluminio, Hierro o Cromo), y otro divalente o tetravalente, pero en todo caso funcionando como divalente.

Sus principales especies son:



Los granates cristalizan en trapezoedros y rombododecaedros (figs. 19, 23 y 27), cúbicos, aunque parece ser que estos cristales son miméticos, y que la simetría real de los granates es la rómbica. La **Grosularia** es generalmente amarillenta o parda. La **Almandina**, rojo sangre, así como el **Piropo**. La **Espesartina** y la **Ouwarovita**, verdes, y la **Melanita**, negra. Son minerales abundantes y empleadas en joyería las especies de bella coloración. En España es digno de citarse, como localidad suya, el barranco de las

Granatillas (Níjar). Al microscopio dan secciones regulares amarillentas e isótropas, con estructura zonar, (fig. 55) fuerte relieve y aspecto granujiento y resquebrajado. Con los granates puede estudiarse la **Vesubiana**, silicato aluminico férrico cálcico magnésico, tetragonal, y la **Cordierita**, silicato aluminico magnésico, rómbico, llamado también *Dicroita* por el marcado dicroísmo que ostenta.

Orden V.—Feldespatos.

Minerales que juegan un papel importantísimo en la constitución de las rocas, formados por silicato aluminico y otro metal, que puede ser potasio, sodio o calcio. Los feldespatos tienen dos direcciones de exfoliación, que son perpendiculares en los potásicos o monoclinicos, llamándose por esto **Ortoclusas**, mientras en los sódicocálcicos, que son triclinicos, el ángulo de las exfoliaciones es oblicuo, y se denominan **Plagioclusas** o **Clinoclusas**.

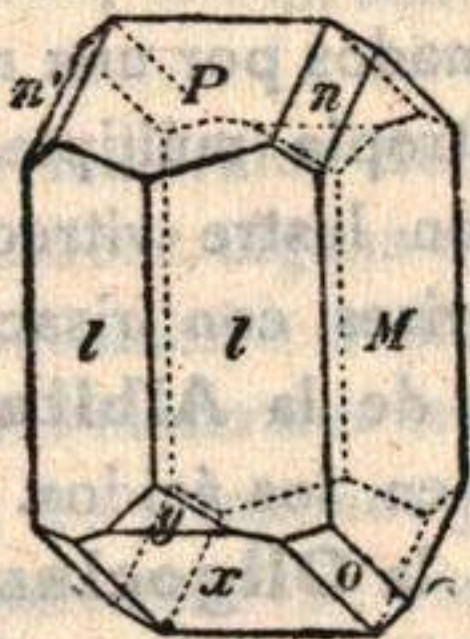


Fig. 84.



Fig. 85.

Ortoclusas.—La más importante es la **Ortosa**, $\text{Si}_3 \text{O}_{10} \text{Al}_2 \text{K}_2$ (*Trisilicato aluminico potásico*), que se presenta, formando parte de muchas rocas, en cristales monoclinicos (figura 84), muy generalmente formados por la macla de dos individuos (fig. 85); difícilmente fusibles y atacables sola-

mente por el ácido fluorhídrico, dando, como con la perla de sal de fósforo, esqueleto de sílice. La variedad transparente recibe el nombre de *Adularia*; la blanco-lechosa o rosa claro, común en las rocas antiguas, *Pegmatolita*. La sodífera, típica de las rocas volcánicas, *Sanidina*,

Muchas ortosas presentan juegos de luz, como la variedad *opalizante*, que se atribuyen a la intercalación de numerosas y finas láminas de Albita; y la *aventurinada*, nacarada, con intercalación de láminas de Oligisto, conocida con el nombre de *piedra del Sol* y *piedra de Luna*. La variedad barífera recibe el nombre de *Hialofana*, y la sodífera, *Anortosa*. El trisilicato aluminico potásico es dimorfo, y la especie triclinica, denominada *Microclina*, se presenta en cristales miméticos (fig. 43) aparentemente monoclinicos. La Ortosa forma parte esencial de muchas rocas; sus secciones, generalmente incoloras o anubarradas por su transformación en Kao-lín, presentan colores de polarización débiles, y se extinguen en dos mitades, delatando su macla.

Plagioclasas o *Clinoclasas*, son mezclas isomorfas del trisilicato aluminico sódico (Albita) y el ortosilicato cálcico (Anortita), cristalizadas en el sistema triclinico, pero sus cristales rara vez son simples, sino formados por una multitud de individuos maclados por hemitropía múltiple. Son incoloros, blanquecinos o verdosos, con lustre vítreo. La **Labradorita** se presenta en masas grises, con irisaciones muy vistosas. La fusibilidad aumenta de la **Albita** a la **Anortita**, así como su solubilidad en los ácidos. Muy abundantes en las rocas especialmente la **Oligoclasa** se reconocen en seguida sus secciones, por presentar a la luz polarizada una serie de fajas paralelas, alternativamente claras y obscuras, llamadas fajas polisintéticas, que delatan su constitución maclada por hemitropía múltiple.

Orden VI.—Feldespatoides,

Así se llama a metasilicatos alumínicos alcalinos que se parecen a los Feldespatos por su composición cualitativa y por jugar en las rocas modernas el mismo papel que los Feldespatos en las antiguas, pero su composición cuantitativa es distinta, y su simetría cristalográfica más elevada; el más importante es la

Leucita. — Metasilicato alumínico potásico, en cristales aparentemente cúbicos. de forma trapezoica (fig. 19), blancos, comunes en las rocas volcánicas, y cuyas secciones, generalmente octogonales, se reconocen muy bien por sus inclusiones abundantes, dispuestas con regularidad (fig. 54).

También pertenecen a este grupo la **Nefelina**, exagonal, incolora o de aspecto graso (variedad *Eleolita*). La **Sodalita** y la **Haüyna**, silicatos alumínicos sódicos, con cloruro sódico el primero y sulfato cálcico el segundo, ambos cúbicos, y el **Ultramar** o *lápiz lázuli*, análogo a los anteriores, pero con un hermoso color azul.

Orden VII.—Piroxemo, Anfíbol.

Los minerales de este grupo son metasilicatos cálcico-magnésicos, alguna vez ferrosos y aun aluminosos, rómbicos, monoclinicos o triclinicos.

Estos minerales se subdividen en dos series isotrimorfas: la de los piroxenos y la de los anfíboles.

Piroxenos.—Se conocen tres piroxenos rómbicos; la **Enstatita**, la **Broncita** y la **Hiperstena**. Los más importantes son los monoclinicos; de ellos, el **Diópsido** es blanco o verdoso y pobre en hierro; la **Malacolita**, más ferruginosa y más verdosa, y la **Dialaga** y **Augita**, ferruginoso-aluminíferas y de color negro.

Los piroxenos se presentan en cristales cortos (fig. 86), o agregados cristalino-granudos, con exfoliaciones en dos

direcciones, formando un ángulo agudo de 87 a 93°; en ellos predomina la cal sobre la magnesia, y sus secciones, muy comunes en las rocas, son pleocroicas y con estructura zonar y tres o dos exfoliaciones casi rectangulares.

Anfiboles.—Los más importantes son monoclinicos; las

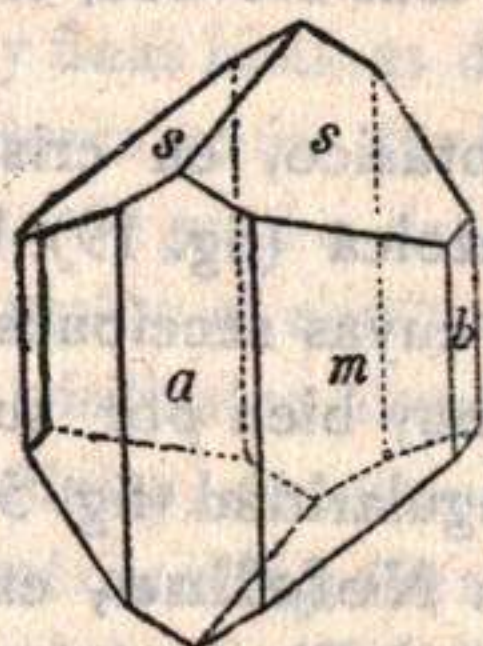


Fig. 86.

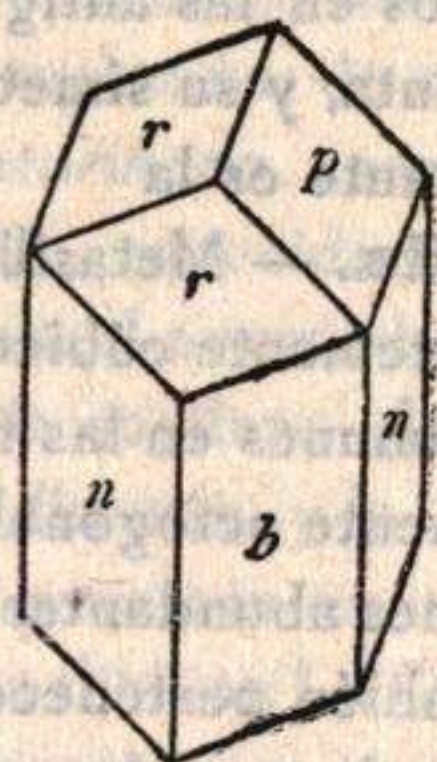


Fig. 87.

especies pobres en hierro son blancas, como la **Tremolita**, cuyas variedades, en fibras sedosas, son conocidas con el nombre de *Asbesto* y *Amianto*, y las papiráceas, *Cuero* y *Cartón de montaña*. La **Actinota**, más ferruginosa, en agujas verdes o en masas tenaces verdes, formadas de fibras microscópicas (*Jadeíta*), y la **Hornblenda**, aluminosa y negruzca (fig. 87).

Los Anfíboles tienen tendencia a formar cristales largos o agregados cristalino-fibrosos; sus dos exfoliaciones, muy marcadas, forman ángulo 120°; la magnesia predomina sobre la cal, y sus secciones, tan abundantes en las rocas como las de los piroxenos, son frecuentemente policroicas y sus exfoliaciones más oblicuas.

El hecho de que los anfíboles adoptan por fusión la forma cristalina de los piroxenos, y de que éstos, por la acción de los agentes atmosféricos, se transforman en anfíboles, da fundamento para pensar que, el tipo Piroxeno es la forma ígnea del silicato cálcico magnésico, y el Anfíbol la engendrada por la vía húmeda.

Orden VIII.—Peridóticos.

Los minerales de este grupo son ortosilicatos ferroso-magnésicos, y alguna vez manganésicos, del sistema rómbico. El más importante es el **Olivino** o *Peridoto* cuyos cristales son comunes en las rocas volcánicas: presentan un color verdoso amarillento, al que alude su nombre, y sus secciones, resquebrajadas y granujientas, que ostentan vivos colores de polarización, y extinción recta, están muchas veces parcial o totalmente transformados en Serpentina.

Orden IX.—Arcillas.

Ortosilicatos ácidos de alúmina, que resultan de la hidratación de los feldespatos, terrosos, muy frecuentemente mezclados con cuarzo y óxidos de hierro, que les dan colores más o menos rojizos; se pegan a la lengua y los labios húmedos, dan olor a tierra mojada cuando se les exhala el aliento, y forman pasta con el agua. Insolubles en los ácidos e infusibles, pierden el agua por la acción del calor, quedando una masa incapaz de fraguar con el agua.

La variedad más fina es el Kaolín, que resulta de la alteración de la Ortosa por la acción del anhídrido carbónico y el vapor de agua de la atmósfera.

Kaolín. $\text{Si}_2 \text{O}_9 \text{Al}_2 \text{H}_4$. De color blanco, empleado, en unión del polvo del feldespato, cuarzo y yeso, para la fabricación de la porcelana. Se colorea de azul al soplete con nitrato cobaltoso. El Kaolín es conocido y empleado por los chinos desde tiempos muy antiguos, y en España el mejor criadero es el de la Puebla de Montalván (Toledo). Las arcillas impuras se emplean para la cerámica y alfarería y en el desengrase de las lanas. Son notables las arcillas esmécticas o tierras de bataneros de Segovia, las plásticas de la Mancha, Extremadura (tierra de

barros) y Castilleja (Sevilla). Las variedades ricas en caliza reciben el nombre de *margas*.

Orden X.—Zeolitas.

Silicatos que resultan también de hidratación de otros preexistentes en las rocas, encontrándose en éstas en bellos cristales, tapizando cavidades vacuolares denominados amigdalas. Son silicatos generalmente alumínicos, alcalinos o alcalinos-térreos, que dan agua en el tubo, funden con ebullición, a lo que alude su nombre y se disuelven en los ácidos con separación de sílice gelatinosa. Sus cristales son muy frecuentemente miméticos. Las principales especies son las siguientes.

	Ejemplos.	Simetría aparente.	Simetría real.	
ZEOLITAS	Sódicas.....	MESOTIPA ..	Rómbica..... Rómbica.	
	Sódico-cálcicas.....	ANALCINA..	Cúbica..... Rómbica.	
	Cálcico-potásicas.....	CRISTIANITA.	Rómbica..... Monoclínica.	
	Cálcico-potásico-sódicas	CHAVASIA..	Romboédrica.	Triclínica.
		ESTILBITA ..	Rómbica.....	Monoclínica.
	Cálcicas.....	ESCOLESITA.	Monoclínica...	Monoclínica.
	Barítico-potásicas.....	HARMOTOMA.	Rómbica.....	Rómbica.

Orden XI.—Micas.

Con este nombre que alude a su brillo, se agrupan minerales muy característicos por tener una exfoliación muy perfecta que permite dividirlos en delgadas placas elásticas y de hermoso brillo. Los cristales, de apariencia exagonal, son realmente, rómbicos o monoclinicos. En el tubo cerrado dan algo de agua, más o menos cargada de ácido fluorhídrico; son poco atacables y poco fusibles. Golpeadas o comprimidas con un punzón de acero, las láminas de mica dan estre-

llas de seis radios, denominadas figuras de percusión o de presión.

Las micas alumínico-potásico-magnésicas son ferríferas, negras y policroicas, y se conocen con el nombre de **Biotita**. Las alumínico-potásicas son transparentes incoloras, no policroicas, denominándose **Moscovita** o *vidrio de Moscovia*, muy empleada para vidrios de hornos y estufas. La especie litinífera se denomina **Lepidolita** por presentarse en escamas generalmente rosadas.

Las secciones de mica son comunes en las rocas, ofreciendo contornos irregulares desgarrados y con la exfoliación muy clara. La Moscovita da secciones transparentes; la Biotita, verdes amarillas oscuras muy policroicas. Los colores de polarización son poco vivos y su conducta óptica poco diferente de los uniáxicos.

Las micas son abundantísimas en la mayor parte de las rocas eruptivas.

Orden XII.—Cloritas

Minerales análogos a las micas, exfoliables, pero flexibles, de color verde, al que alude su nombre y policroicas, constituidas por silicatos alumínico-magnésicos y alguna vez ferríferos. En cristales que simulan formas exagonales.

Orden XIII.—Epidotas.

Como los anteriores, son minerales que resultan de alteración de otros. El más importante, la **Epidota**, silicato alumínico-cálcico, forma en las rocas cristales monoclinicos verdes muy policroicos.

Orden XIV.—Serpentinas.

Silicatos de magnesia ácidos, fácilmente reconocibles los de color blanco, con el nitrato cobaltoso.

Talco.—Metasilicato ácido de magnesio. $\text{Si}_3 \text{O}_9 \text{Mg}_2 \text{H}_2$: Se presenta en cristales aparentemente exagonales, o más frecuentemente en masas exfoliables flexibles, muy blandas, verdoso-nacaradas, que se exfolian y endurecen al soplete y son poco atacables por los ácidos. La variedad compacta se denomina *Esteatita* o jabón de saстре; se emplea el Talco como lubricante y en Escultura, la variedad *Piedra ollar*, mezcla de Talco, Clorita, Mica y Asbesto, como refractaria al fuego. Es mineral frecuente en ciertas rocas, en las que da secciones irregulares, encorvadas con vivos colores de polarización. Hermosos ejemplares laminares se conocen de la Guinea Española.

La **Sepiolita**. (*Magnesita*) $\text{Si}_3 \text{O}_{12} \text{Mg}_2 \text{H}_8$, y la **Serpentina**, $\text{Si}_2 \text{O}_8 \text{Mg}_3$, son ortosilicatos de magnesia; de ellos el primero, llamado también *piedra loca* y *espuma de mar*, forma masas compactas blanco-opacas, muy usadas en la confección de boquillas. La serpentina forma grandes masas verdosas, como indica su nombre, que proceden de la alteración del Olivino, muy apreciadas como materia de ornamentación. La variedad fibrosa o *Crisotilo* recibe el nombre de *Asbesto de Serpentina*.

Se incluyen en este grupo los Silicatos de los metales pesados, que son un corto número de especies, y sólo merece especial mención la **Calamina** (que es un metasilicato básico de cinc, llamado también *Hemimorfita*, por presentarse en cristales rómbicos hemimórficos (fig. 13) y más frecuentemente en masas grises o amarillentas fosforescentes, que dan las reacciones del cinc.

CLASE VIII.—CARBONADOS.

Se incluyen en esta clase aquellos minerales en que el carbono entra a formar parte de su composición química. Siendo el carbono elemento esencial de los seres orgánicos, muchos minerales carbonados deben a ellos su origen y a

dicho elemento deben también muchos la propiedad de arder, por lo que el grupo de minerales carbonados coincide casi por completo con el de minerales de origen orgánico y combustibles minerales de otros autores.

Dividiremos esta clase en cuatro órdenes: en el primero incluiremos aquellos minerales que contienen carbono libre; en el segundo, los hidrocarburos o combinaciones del carbono e hidrógeno; en el tercero, las resinas fósiles, compuestos ternarios de carbono, hidrógeno y oxígeno, y en el cuarto, las sales carburadas (carbonatos, oxalatos, etc.).

Orden I.—Carbones.

Los carbones minerales forman una serie de seis términos (diamante, grafito, antracita, hulla, lignito y turba), en la que la riqueza en carbono y su poder calorífico, por tanto, disminuye del primero al último, así como también su antigüedad. De ellos, el diamante solamente se presenta en cristales; el grafito es cristalino; la antracita, hulla y lignito, compactos, y la turba, esponjosa. El origen orgánico de los cuatro últimos términos está plenamente comprobado.

Diamante. Carbono puro, en cristales del sistema cúbico, muy frecuentemente con aristas curvas (fig. 45) y caras abombadas. transparentes, incoloros, rara vez coloreados o negros, muy refringentes y dispersivos y de un bellissimo aspecto. Muy frágil y tan duro que raya todos los minerales; brillo muy intenso, típico, llamado adamantino; infusible e insoluble, pero arde en el oxígeno y se disuelve en la mezcla de bicromato potásico y ácido sulfúrico, transformándose en anhídrido carbónico.

Se conocen tres variedades: el diamante, propiamente dicho, en cristales sueltos o grupos de cristales; el *bort*, en bolas fibroso-radiantes, y el *carbonado*, en cuerpos negros cristalinos más impuros, puesto que dejan por combustión un 2 por 100 de cenizas. Se encuentra el diamante en rocas

antiguas o depósitos de acarreo procedentes de ellas. Los yacimientos más antiguos son los de la India, hoy casi agotados, así como también lo están actualmente los de Minas-Garaes y Bahía, en el Brasil; también hay diamantes en los Urales, Australia, Méjico y California; pero las minas más ricas están en el Griqualand, en el Africa del Sur. El diamante es la piedra preciosa más estimada; su precio se valúa tanto por su peso como por su transparencia, pureza y buena talla, siendo las variedades bien coloreadas (verdes, amarillas, rojas y azules), sumamente raras, las que alcanzan mayor valor. El peso del diamante, como de todas las piedras preciosas, se aprecia en quilates, unidad india que equivale según los países, de 197 a 206 miligramos; el precio del diamante de un quilate alcanza el valor de 1.200 pesetas, y para un peso mayor su precio aumenta según el cuadrado. La talla del diamante fué casualmente descubierta en 1456 por Luis Vergen, frotando dos diamantes, y se practica frotándole contra su polvo; los mejores ejemplares se tallan en brillante para ser montados al aire; son notables por su tamaño excepcional algunos diamantes; los mayores que se conocen son el Orlov, del emperador de Rusia; pesa 194 quilates; es originario de la India, en donde formaba uno de los ojos de un ídolo, y fué adquirido por Catalina de Rusia en 2.250.000 francos y una pensión vitalicia de 100.000. El Regente de la corona de Francia pesa 136 quilates; es también indiano y uno de los más bellos diamantes; el Gran Duque de Toscana, del emperador de Austria, pesa 139, la Estrella del Sur, que procede del Brasil, 125; el Amarillo Florentino, del emperador de Austria, pesa 110; el Sancy, 53; el verde de Dresde, 40; el Ko-i-onor, de la corona de Inglaterra, pesaba 280 en la antigua forma y 106 en la moderna; el azul de la casa Hope, Amsterdam, 44. Pero a todos excede en tamaño el *Cullinan*, enorme diamante encontrado en el Transvaal recientemente y regalado al rey de Inglaterra, el cual ha sido tallado, siendo preciso, por su irre-

gularidad, transformarlo en varios, de los cuales los dos mayores son todavía los más grandes conocidos. Se imita el diamante con diferentes vidrios plumbíferos, y hoy día merced al horno eléctrico, se pueden obtener cristales microscópicos de diamante utilizando la propiedad de ser soluble al carbono en el hierro fundido. Se emplea también el diamante para perforar, cortar, pulir y tallar las piedras preciosas, vidrio, etc., y el carbonado en las máquinas perforadoras de terrenos.

Grafito. (*Plombagina, Lápiz plomo.*)—Cristales imperfectos de apariencia exagonal, probablemente monoclinicos y más generalmente en masas negras, untuosas al tacto y que tiznan; arde en el oxígeno con más dificultad que el diamante y dejando residuos; se encuentra en Pargas (Finlandia) y Ticonderoga (Estados Unidos); en España ha sido citado en la provincia de Málaga. Se emplea en la fabricación de lápices, crisoles de fundición, moldes de galvanoplastia y como lubricante.

Antracita.—El carbón más antiguo, muy rico en carbono, 87 a 64 por 100; masas compactas, negras, con lustre submetálico; arde difícilmente sin humo ni olor y tiene gran potencia calorífica.

Hulla.—(*Carbón de piedra.*)—Masas compactas con fractura muy frecuentemente pseudoespática; la estructura orgánica se delata al microscopio después de tratar con clorato potásico y ácido nítrico. Las principales variedades son el carbón brillante, píceo, fibroso y pizarroso; los *bogheads* y *cannel-coals* son carbones muy compactos, elásticos, de fractura concoidea, brillantes, que arden con llama clara, resquebrajándose. La hulla es el mineral más precioso para el hombre por ser la base de su industria, sirviendo además para la fabricación del gas del alumbrado, en la que se obtienen como productos secundarios el Cok, Amoniaco y Alquitrán, del cual se extraen un sinnúmero de productos químicos como el Benzol, Naftalina, Colores de Anilina, etc. Se conocen

muchas minas de carbón de piedra, especialmente en Inglaterra y Europa media que son objeto de una explotación activísima y producen al año más de 600 millones de toneladas. En España, la cuenca carbonífera más importante es la de Asturias, y la siguen en importancia Belmez y Espiel (Córdoba), Villanueva del Río (Sevilla), Puertollano (Ciudad Real), San Juan de las Abadesas (Gerona), etc.

Lignito. Carbón más moderno que la hulla, compacto, térreo o leñoso; sus principales variedades son el píceo, de lustre típico, el *Azabache* compacto, el leñoso de aspecto de madera: la tierra o *sombra de Colonia* empleado en pintura, y el papiráceo o apergaminado; el yacimiento más importante de Lignito, en España, está en Utrillas (Teruel).

Turba. Es el carbón más moderno y menos rico en carbono; se encuentra en agregados flojos de vegetales apenas mineralizados; es mineral que se forma actualmente en muchas localidades, llamadas turberas.

Orden II—Hidrocarburos.

Minerales formados por la combinación de carbono e hidrógeno; pueden ser gaseosos, líquidos o sólidos.

Petróleo. (*Nafta, Aceite mineral.*)—Líquido inflamable, constituido por la mezcla de hidrocarburos líquidos, en los que hay disueltos otros sólidos y gaseosos que se separan por destilación fraccionada. Distingúense tres suertes: 1.^a, los petróleos americanos de Pensilvania, constituidos por hidrocarburos forménicos de la fórmula $C_n H_{2n + 2}$; 2.^a, los petróleos del Cáucaso o de Baku, formados por cicloetanos de la fórmula $C_n H_{2n}$; 3.^a, los petróleos de la Galicia austriaca, formados por la mezcla de los anteriores y que contienen además hidrocarburos aromáticos derivados de la bencina, y de la fórmula $C_n H_{2n + 6}$.

El **Asfalto** es una mezcla de hidrocarburos que se pre-

senta en masas viscosas negras de olor bituminoso; empleada en el pavimento de las calles; su localidad principal es el lago Asphaltites o Mar Muerto. La **Ozoquerita** o *cera y parafina natural*, en masas verdes y blandas, y la **Elaterita** o *cauchú mineral*, en masas elásticas, pertenecen también a este grupo.

Orden III.—Resinas fósiles

Compuestos C, H y O, amorfos, transparentes, que se funden y arden con el calor; el más importante es el **Succino** o *ámbar amarillo*, resina fósil de coníferas que vivieron en otras épocas. Se presenta en masas guturales, aprisionando con frecuencia insectos fósiles; transparente, de color amarillo miel o rojo jacinto, que se electriza por frotamiento y arde con olor agradable; más denso que el agua dulce, flota en el mar, encontrándose en las costas del mar Báltico, y en España, asociado al lignito; se emplea en la fabricación de boquillas y otros objetos de adorno, sabiéndose hoy día soldar los pequeños fragmentos para hacerlos mayores. También se utiliza en la fabricación de barnices,

Orden IV.—Sales carburadas.

Casi todos son carbonatos, es decir, sales que resultan de la sustitución del hidrógeno del ácido carbónico por radicales metálicos. Admitiremos cuatro grupos: los carbonatos anhidros romboédricos, los rómbicos, los hidratados y los oxalatos y melatos.

Familia 1.^a, CARBONATOS ANHIDROS ROMBOÉDRICOS.—Los principales son:

Calcita. (*Caliza, Piedra de cal, Carbonato cálcico.*) CO_3Ca
Sistema exagonal romboédrico, en prismas apuntados por el romboedro (fig. 35), a veces este combinado con el escalenoedro (fig. 88) o el escalenoedro solo masas espáticas con-

crecionadas o compactas, exfoiación muy fácil que conduce a un romboedro de $105^{\circ}5'$ (fig. 89), maclas frecuentes (figura 90). Infusible; calcinada, blanquea y se hace opaca, des-

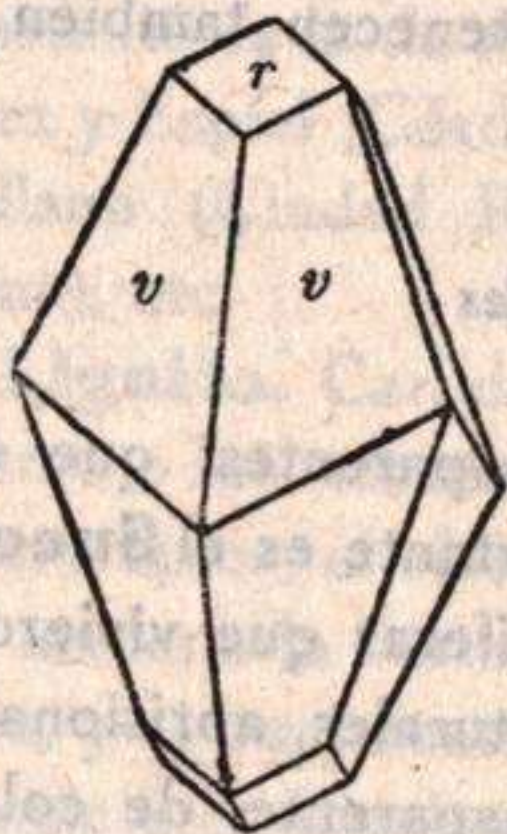


Fig. 88.

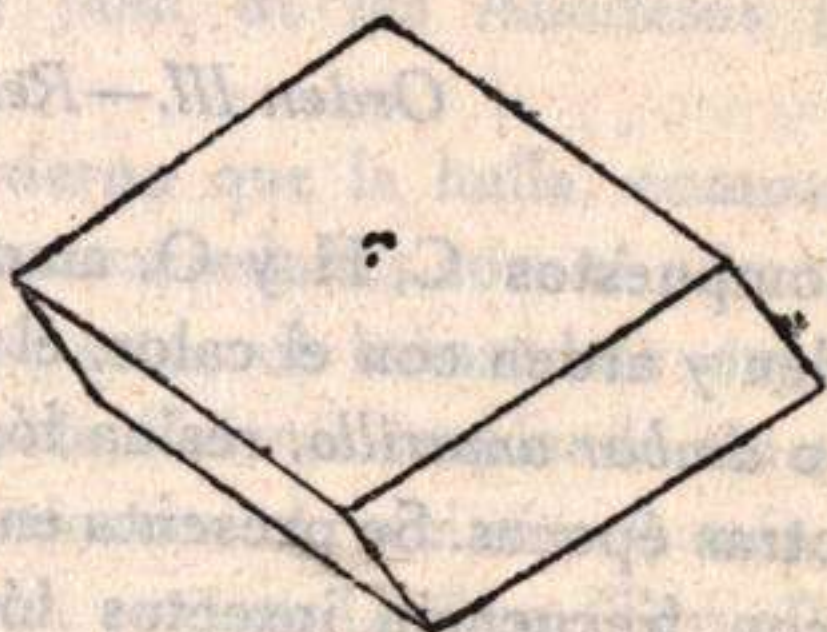


Fig. 89.

prendiendo el anhídrido carbónico y convirtiéndose en cal viva; se disuelve en los ácidos, con efervescencia, dando la disolución los caracteres del calcio; al microscopio en placas delgadas, ostentan colores débiles de polarización, trazas de exfoiación y fajas polisintéticas.

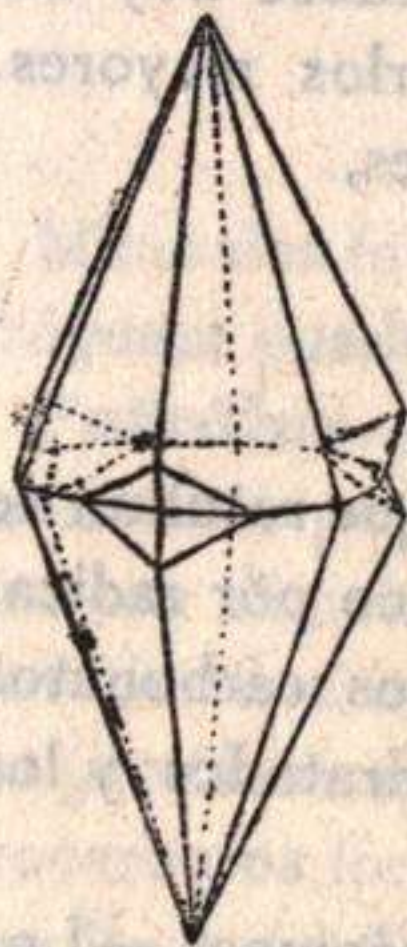


Fig. 90.

Las variedades de la caliza son numerosísimas. La cristalizada o en masas espáticas, transparente o incolora, con doble refracción muy marcada, se denomina *espato de Islandia*, de donde procede la empleada en las investigaciones ópticas; la fibrosa o *alabastro calizo*, se halla en Aracena (Huelva), Lanjarón (Granada) y Dalías (Almería); la *estalactítica* en masas concrecionadas, cónicas, en

gran número de cuevas calizas, como Mondragón (Guipúzcoa), Artá (Mallorca); la *incrustante* recubriendo objetos diversos, en el Monasterio de Piedra (Zaragoza); la *sacaroides*, tan usada en estatuaria como las de Paros, con las

que están hechas las Venus de Milo, Capitolina, y de Médicis; y las de Carrara, explotadas desde hace dos mil años; los mármoles, abundantísimos en nuestra península; las *lumaquelas* o *calizas conchíferas*; las *litográficas*, *hidráulicas*, *tobas*, *pisolíticas* y *oolíticas*, etc.

Dolomita. CO_3 (Ca Mg) *Espato perlado*.—Exagonal romboédrica, en romboedros o masas cristalinas o compactas, a veces bituminosas o fétidas cuando se las raspa, distinguiéndose siempre de la caliza por dar muy claramente las reacciones de la magnesia y con más dificultad la efervescencia (caliza lenta). Distinguese también de la caliza por tener un brillo más perlado. Es mineral bastante frecuente en masas; en Teruel se encuentran cristales negros, ricos en hierro, que constituyen la variedad *Teruelita*.

Smithsonita. CO_3 Zn (*Calamina de los mineros y de algunos autores*).—Exagonal romboédrica, en masas concrecionadas o pequeños cristales, formando costras o tapizando geodas; se presenta también frecuentemente fosilizando conchas o pseudomórfica de otros minerales; infusible al soplete, dando la reacción del cinc con el nitrato de cobalto; se explota en España esta mena de cinc en Reocín (Santander), y algunas otras localidades.

Siderita. CO_3 Fe. (*Siderosa, Hierro espático*).—Exagonal romboédrico en cristales frecuentemente lenticulares o masas espáticas de color melado que obscurecen al soplete, decrepitando y haciéndose magnética. Soluble en los ácidos en caliente, con efervescencia; mineral filoniano muy frecuente en España y muy apreciado para la metalurgia del hierro. Forma grandes masas en Somorrostro (Vizcaya).

Familia 2.^a, CARBONATOS ANHIDROS RÓMBICOS.—Los principales son:

Aragonito. (De Molina de Aragón (Guadalajara). CO_3 Ca.—Rómbico, en cristales simples o maclados o en agrupaciones miméticas de tres individuos, simulando un prisma exagonal, (fig. 44) o masas a veces coraliformes (*flos ferri*)

(fig. 91). Más difícilmente atacado por los ácidos que la caliza y forma la concha de muchos moluscos vivientes y fósiles; son frecuentes en España los cristales miméticos, denominados *torrecicas* en Aragón y *piedras de Santa Casilda* en Burgos; el *flos ferri* se encuentra en Somorrostro (Vizcaya), asociado a los minerales de hierro.



Fig. 91.

Cerusita $\text{CO}_3 \text{Pb}$. (*Plomo blanco, Abayalde natural*).—Rómbico, en cristales o masas de cristales en celosía, incoloros, blancos o accidentalmente coloreados que decrepitan al soplete y dan botón de plomo; soluble con efervescencia en los ácidos, dando las reacciones de dicho metal; es frecuente en España en Cartagena, Sierra Almagrera (Almería), Borracho (Ciudad Real), etc.

Familia 3.^a, HIDROCARBONATOS.

—Son carbonatos básicos metálicos:

Malaquita. $\text{CO}_3 \text{Cu}_2 (\text{OH})_2$ (*Cobre verde*). Monoclínica, rara vez en cristales; generalmente en masas compactas, concrecionadas o fibroso-radiantes de un hermoso verde y bello lustre vítreo o sedoso; en el tubo da agua y se ennegrece; es mineral frecuente en los afloramientos de los filones de otros minerales de cobre. En Molina de Aragón y otras localidades se encuentran bellos ejemplares. Se emplean los buenos ejemplares como vistoso material de decoración y para la fabricación de diversos objetos de arte.

Azurita. $(\text{CO}_3)_2 \text{Cu}_3 (\text{OH})_2$ (*Cobre azul*).—Rara vez en cristales monoclínicos, generalmente en masas de un bello

color azul; se encuentra asociada a la malaquita en muchas localidades y da las mismas reacciones.

Zinconisa. $(\text{CO}_3)_2 \text{Zn}_3 (\text{HO})_2$ (*Hidrozinconita*).—No se la encuentra cristalizada sino en masas concrecionadas compactas, o terrosas que dan agua en el tubo, por lo que se diferencia de la Smithsonita.

Familia 4.^a, SALES ORGÁNICAS.—Se presentan en la Naturaleza la **Melita**, Melato aluminico tetragonal; la **Whewellita**, oxalato cálcico monoclinico, y la **Oxalita**, oxalato ferroso, minerales todos ellos poco frecuentes.

LITOLOGIA

Los caracteres de las rocas.

Litología general.—Es estudio de las piedras o rocas, conocido con el nombre de Litología o Petrografía, comprende, como el de los minerales, una parte general o característica y otra especial o descriptiva. Los caracteres de las rocas de que hemos de ocuparnos son su composición (química y mineralógica), su estructura y su origen.

Generalidades acerca de la composición química de las rocas; acidez.—En las rocas constituidas por un solo mineral, su composición química es la misma que la del mineral que las constituye, el cual se encuentra generalmente más o menos impurificado, pero es especialmente en las rocas ígneas, constituidas casi siempre por varios minerales, en las que el examen de su composición química presenta un interés especial. El análisis de estas rocas delata principalmente la presencia del anhídrido silícico (SiO_2), de los sesquióxidos de aluminio y hierro (Al_2O_3 y Fe_2O_3), de los protóxidos de hierro, cal y magnesio (FeO , CaO y MgO), y de los de sodio y potasio (Na_2O y K_2O). El agua falta en las rocas frescas, siendo patrimonio de las alteradas, así como también el anhídrido carbónico. Obsérvase entre las cantidades de estos diversos compuestos relaciones inte-

resantes, y entre ellas la de que, para un mismo yacimiento, de rocas, la cantidad de alúmina permanece constante, los álcalis crecen proporcionalmente a la sílice, mientras que la cal, la magnesia y el hierro decrecen proporcionalmente a ella. Como se ve, en la composición química de las rocas entran diversas bases y un sólo ácido, que es el silícico, y de aquí que la cantidad de éste, llamada *acidez de la roca*, tenga una importancia especial. Cuando la cantidad de sílice es superior a un 65 por 100, las rocas se llaman *ácidas*; *neutras*, cuando oscila entre 65 y 52 por 100; y *básicas*, cuando es menor de 52 por 100. Puede juzgarse de si una roca es ácida, neutra o básica, sin que sea necesario un análisis cuantitativo de la sílice que contiene, por una simple inspección organoléptica. En efecto, en las rocas ácidas, por efecto de la gran cantidad de sílice que contienen, todos los elementos están en estado de silicatos y hay todavía sílice sobrante en estado de cuarzo. En las rocas neutras, la cantidad de sílice es la suficiente para saturar las bases, pero como no excede, todos los elementos minerales son silicatos, no habiendo cuarzo libre. Por último en las rocas básicas la cantidad de cuarzo no ha sido suficiente para saturar todas las bases, por lo que no solamente no presentan cuarzo libre, sino que a los elementos minerales siliciatados acompañan bases libres sin siliciar (magnétita).

Composición mineralógica de las rocas.—Como ya hemos indicado, existen rocas denominadas *simples*, que están constituídas exclusivamente por un solo mineral; pero la mayor parte están formadas por la reunión de un cierto número de especies minerales (*rocas compuestas*), en su mayor parte silicatos. Los principales minerales que forman rocas o entran a formar parte en la constitución de ellas, son los siguientes:

	Cuarzo.		
	Ópalo.	Óxidos.	{ Magnetita.
	Feldespatos.		{ Sesquióxidos de hierro.
	Feldespatoides.		{ Agua.
	Micas.	Sulfuros.	Pirita.
	Piroxenos.		
	Anfíboles	Carbonatos.	{ Calcita.
	Olivino.		{ Dolomita.
Silicatos.	Zeolitas.	Sulfatos.	Yeso.
	Turmalinas.	Cloruros.	Sal gema.
	Granates.	Fosfatos.	Apatito.
	Andalucíticos.	Carbonados.	Carbones.
	Cloritas.		
	Serpentinas.		
	Arcillas.		

De estos elementos, unos sólo forman rocas simples, como el yeso, otros entran sólo en la formación de rocas compuestas, no constituyendo nunca por sí solos grandes masas, como los feldespatos; otros, por último, como el cuarzo, bien se encuentran constituyendo una roca simple, bien formando parte de la composición mineralógica de las rocas compuestas.

Los elementos que integran las rocas compuestas se llaman: *esenciales*, aquellos que no faltan nunca en una misma roca; *accesorios*, los que a veces existen, pero no de una manera constante; y *característicos*, los que siendo esenciales o accesorios, por ostentar caracteres salientes facilitan su diagnóstico.

Además de los elementos mineralógicos enunciados, puede coexistir con ellos o formar parte por sí solo la roca un elemento amorfo hialino denominado *magma*, que se supone sea la materia primitiva de la roca, solidificada antes de individualizarse parcial o totalmente en diversas especies minerales, fenómeno que recibe el nombre de *desvitrificación*, por las grandes analogías ópticas que el magma solidificado presenta con el vidrio.

Estructura de las rocas.—El carácter de la estructura aplicado a las rocas reviste una importancia excepcional. Atendiendo a ella, se dividen en dos grupos, según que

los elementos que las constituyen estén en cristales homogéneamente mezclados (*rocas en masa*) o distribuidos en capas paralelas (*rocas estratificadas*). Entre estos dos tipos estructurales existe uno intermedio (*rocas esquistosas, cristaloídicas o metamórficas*), en las que los elementos, también cristalizados, como en las primeras, sin llegar a formar verdaderas capas, están orientados en zonas paralelas y recuerdan por esto la estructura de las segundas.

Las rocas en masas pueden ser amorfas, recibiendo en este caso el nombre de *vítreas*; pero en general, hay una gran tendencia a la cristalización, siendo raras las rocas verdaderamente vítreas en que su pasta está constituida por una masa homogénea y amorfa (magma), pues aun dentro de ellas se observan en su textura microscópica diferencias que indican una cristalización incipiente. Lo general es que la roca sea *cristalina*, es decir, que su masa se haya individualizado parcial o totalmente en cristales diversos; en el primer caso, cuando existen restos vítreos, se denominan *hipocristalinas*, en contradicción con las *holocristalinas*, constituidas exclusivamente por cristales, pudiendo ser éstas *fanerocristalinas* o granudas, y *microcristalinas* o microgranudas, según que los cristales sean visibles o no a simple vista. Cuando en una roca holo o hipocristalina existen cristales que se destacan por su tamaño de la masa común constituida por cristales macro o microscópicos, reciben el nombre de *porfídicas* o *pórfidos*. En el caso de la pasta microcristalina, los elementos cristalinos pueden ser pequeños cristales, rocas *microgranudas*; cristales alargados, rocas *ofíticas*; o cristalitos rocas *microlíticas*.

Las rocas estratificadas pueden estar constituidas por capas homogéneas (*rocas estratificadas propiamente dichas*), o formadas de pedazos (*rocas clásticas*); cuando estos trozos que constituyen la roca están disgregados reciben el nombre de *sueeltas*; y si por el contrario se encuentran aprisionados por un cemento, *conglomeradas*.

Origen de las rocas.—Las rocas en masa deben su origen al calor central terrestre, y algunas de ellas las vemos en la actualidad salir fundidas de los volcanes: se las denomina por esto *rocas ígneas* o endógenas, las cuales pueden ser *intrusivas* o *plutónicas* y *efusivas* o *volcánicas*, según que se hayan solidificado en el espesor de la tierra o en el exterior. Las rocas ígneas son alteradas por los agentes exteriores, y transportados sus fragmentos se depositan o aposan en lechos o capas, constituyendo las rocas estratificadas, llamadas en razón de su origen *sedimentarias* o *exógenas*. Los seres orgánicos juegan también un gran papel en la formación de muchas rocas sedimentarias. Aunque algunos autores forman un grupo aparte con las rocas de origen orgánico, no hay ningún motivo para separarlas de las sedimentarias de origen puramente químico, con las que están enlazadas por gradaciones insensibles. El origen de las rocas esquistosas ha sido muy discutido, suponiéndose hoy que es mixto y que se trata de antiguos sedimentos alterados por la acción del vapor de agua a presión (metamorfismo).

La descripción de las rocas.

Petrografía.

Clasificación de las rocas.—La clasificación adoptada está basada en el origen, estructura y composición mineralógica de las rocas, que son los caracteres petrográficos más importantes; es la siguiente:

} ROCAS	{	Igneas o endógenas.	{	Plutónicas.. .	{	Granudas. Microgranudas. Ofíticas.
				Volcánicas.. .	{	Vitreas. Microlíticas.
				Apéndice: Rocas extraterrestres o Meteoritos.		
	Sedimentarias o exógenas.	{	Mecánicas. Orgánicas. Químicas			
		Estrato-cristalinas o mixtas.				

ROCAS ENDÓGENAS

Así se llaman las rocas en masa por su origen interno, y a expensas de las cuales se forman las exógenas. Pueden ser enteramente cristalinas o contener materias amorfas en proporción variable. Se supone que estas rocas deben su origen a la consolidación de parte de un magma, probablemente único, o de composición poco variable (O Si Al Fe Ca Mg K Na), del cual se originan diversas rocas, según las condiciones de la solidificación. Si el enfriamiento ha sido lento, los diversos minerales han ido formándose, teniendo tiempo de cristalizar y constituyendo cristales tanto más grandes cuanto más lento y reposado fué el enfriamiento; si por el contrario, el enfriamiento es brusco, una parte del magma se solidifica sin cristalizar y sin individualizarse, en minerales diversos. Rara vez el magma queda completamente sin individualizarse, formando las rocas vítreas, las cuales, observadas al microscopio, ostentan siempre distribuídos en la pasta amorfa cristales o microlitos.

Los diferentes minerales de una roca no han cristalizado simultáneamente; en efecto, observando al microscopio los diferentes cristales de una roca ígnea se ve que unos forman inclusiones dentro de otros, y siendo lógico suponer que los minerales incluídos se han formado antes que los que les engloban, se ha podido formar una lista de orden de consolidación de los minerales petrográficos, que en general es el siguiente: 1.º, Minerales accesorios (apatito, zircón, esfena); 2.º, Silicatos ferromagnesianos (olivino, piroxenos, anfíboles, biotita); 3.º, Silicatos alcalinos o alcalinotérreos (moscovita, ortosa, plagioclasas, feldespatoídes); 4.º, Cuarzo.

Se distinguen dos clases de rocas ígneas: las plutónicas, llamadas también holocristalinas por estar totalmente cristalizadas, e intrusivas por haberse solidificado en el interior de la costra terrestre; y las volcánicas, denominadas a su vez hipocristalinas por contener parte vítrea, resto del mag-

ma no individualizado, y expansivas por salir al exterior, donde se solidifican. Se puede también admitir un tercer grupo de rocas filonianas, solidificadas en su salida al exterior.

Plutónicas.—Se distinguen en ellas las granudas o fanerocristalinas, de origen interno, en que toda la roca está formada de cristales visibles a simple vista; las microgranudas o microcristalinas, totalmente formadas de cristales pequeños, solamente discernibles al microscopio, entre los cuales se destacan con frecuencia grandes cristales; y las ofíticas, que forman el paso a las volcánicas y en las que las plagioclasas, asociadas a los piroxenos y anfíboles, forman cristales alargados característicos.

Granudas.—A este grupo pertenecen las rocas ígneas más comunes conocidas con el nombre de **Granitos**. El granito, llamado vulgarmente *piedra cárdena y berroqueña*, es un agregado holocristalino de cuarzo, ortosa (generalmente acompañada de microlina y plagioclasas) y mica. La especie más común o *granitito* ostenta un aspecto característico, debido al contraste de las laminillas de mica negra o biotita, en el fondo blanco del cuarzo y feldespato; la *granulita* contiene la mica blanca como elemento esencial, y también está sustituida la biotita por la hornblenda en el *granito anfibólico*.

Son frecuentes en el granito, geodas tapizadas de gruesos cristales, manchas negras ricas en biotita y filones o venas claras y ácidas de *Pegmatita* (cuarzo y ortosa en grandes cristales y nidos de moscovita) y de *aplita* (granito de grano fino, rico en cuarzo y pobre en mica). El granito pobre en feldespato se domina *greisen*; si ostenta grandes cristales de feldespato, *porfiroide*; si presenta un principio de disposición de los elementos en capas, *gneísico*; y los que poseen turmalina, *turmalínicos*.

El granito roca, de profundidad consolidada lentamente, forma grandes extensiones que emiten diques y flones de

granulita, aplita y pegmatita. Los bloques graníticos se parten, por la acción de la intemperie, en pedazos más o menos paralelepípedicos que redondean los agentes atmosféricos, dando lugar a aglomeraciones y apilamientos, a veces en equilibrio casi inestable, que dan un aspecto pintoresco a los paisajes graníticos.

Se emplea pulido como piedra de ornamentación y tallado en arquitectura monumental severa y para la pavimentación. Se destacan los bloques golpeando una serie de cuñas alineadas en surcos trazados de antemano.

A las rocas granudas pertenecen también las **Sienitas**, formadas de ortosa y un mineral ferromagnesiano (biotita u hornblenda) y a veces nefelina, el **Gabro**, plagioclasa y piroxeno; y las **Peridotitas**, llamadas así por contener olivino asociado a otros minerales y muy frecuentemente convertido en serpentina.

Microgranudas.—Mientras que en los granitos la cristalización se ha verificado en un solo tiempo, en los **Microgranitos** hay una discontinuidad bien marcada, en un primer tiempo de cristalización intratelúrica; se han formado grandes cristales que han sido a veces corroídos por el mismo magma fluido, los cuales han quedado empotrados por una pasta microcristalina más reciente, formada por enfriamiento más rápido. Presentan estas rocas las mismas variedades que los granitos por su composición mineralógica y ofrecen un bello aspecto por el contraste de sus grandes cristales, destacándose en la pasta aparentemente homogénea.

Ofíticas.—Estas rocas holocristalinas forman el paso a las microlíticas, porque su feldespato se encuentra en cristales alargados. Las más importantes son la **Diabasa**, formada esencialmente de plagioclasa y piroxeno, y la **Diorita**, plagioclasa y hornblenda, a veces sustituida por la mica.

Volcánicas.—Son rocas solidificadas en el exterior, presentando generalmente cristales intratelúricos aprisionados en una pasta microlítica más o menos vítrea.

Microlíticas.—Las **Riolitas** tienen la misma composición que el granito; las **Traquitas** corresponden a las sienitas; las **Fonolitas** a las sienitas nefelíticas; las **Andesitas** a las dioritas, y los gabros y los **Basaltos** a las diabasas; éstos contienen generalmente olivino y forman columnatas hexagonales muy características, como en la gruta de Fingal, (Escocia).

Vitreas.—Estas rocas están formadas casi exclusivamente por el magma solidificado. Merece citarse la **Obsidiana** o *espejo de incas*, vidrio ácido, cuya composición corresponde a la del granito, de color negro y fractura concoidea; la **Retinita** o piedra píceca, llamada así por su aspecto resinoso; la **Perlita** u obsidiana de brillo perlado; y la **Pumita** *piedra pómez*, vidrio poroso, que se encuentra en masas espumosas o esponjosas; todos estos vidrios son ácidos; se conoce uno básico y negro que corresponde al basalto, denominado **Taquilita**.

Meteoritos o *piedras meteóricas.*—Como apéndice a las rocas eruptivas, se pueden colocar los meteoritos, rocas extraterrestres, fragmentos de otros astros, que caen a veces en el nuestro. Son característicos por presentar una costra de fusión por el calor originado en el rozamiento con el aire, y depresiones digitiformes análogas a las que se forman en las explosiones de dinamita.

Unos meteoritos se componen esencialmente de hierro, otros son pétreos y constituidos por silicatos, otros, en fin, contienen ambos elementos.

ROCAS EXÓGENAS

Se forman a expensas de las ígneas, cuya destrucción es seguida del depósito de los materiales en capas o estratos, a lo que deben su disposición estratificada. Su origen puede ser mecánico, químico u orgánico.

Rocas de origen mecánico.—Consisten en materia-

les fragmentarios procedentes de la demolición de otras (rocas sueltas), a veces reunidos por un cemento (rocas conglomeradas). Las *arenas*, *cantos rodados*, *guijarros* y la *tierra arable* son rocas sueltas; las *areniscas* (arenas cementadas), las *brechas* (conglomerado de piedras angulosas) y las *pudingas* de cantos rodados, son rocas conglomeradas.

Rocas de origen químico.—Son rocas precipitadas químicamente en las aguas, como las *estalactitas* y *estalagmitas* que se forman en las cuevas calizas, por depósito del carbonato de cal disuelto en el agua de infiltración, merced a un exceso de anhídrido carbónico que se desprende al gotear, formándose caprichosas columnatas las calizas *oolíticas* y *pisolíticas*, la *sal*, el *yeso*, diversos minerales de *hierro*, etc., pertenecen a esta categoría.

Rocas de origen orgánico.—La mayor parte de las calizas proceden de la acumulación de los caparzones calizos de animales, como la *creta*, compuesta principalmente de caparzones de foraminíferos; la *lumaquela*, de conchas de moluscos; las *coralígenas*, de políperos. Los *carbones* proceden de plantas; los *hidrocarburos*, de animales marinos; el *guano*, roca fosfatada de los excrementos de aves marinas acumulados en los islotes donde posan y anidan.

Grandes son las aplicaciones que el hombre saca de diversas rocas sedimentarias, y bien conocida es la aplicación de las arenas, arcillas, cantos rodados, yeso y caliza en construcción: calizas arcillosas para la fabricación de los cementos; el guano como abono; los carbones, petróleo, asfalto y sal en los usos que nos son ya conocidos.

ROCAS ESTRATOCRISTALINAS

Con este nombre y los de metamórficas y esquistosas o pizarrosas se conocen ciertas rocas de estructura intermedia, pues siendo cristalinas, ofrecen una estructura estratificada por estar dispuestos sus elementos cristalinos en capas. Las

más importantes son los **Mármoles**, **Cuarcitas** o guijarros, las **Pizarras**, los **Micasquitos** (agregados de cuarzo y mica en capas) y el **Gneiss** que es un granito hojoso y la roca metamórfica más abundante. Se supone que estas piedras no son más que rocas transformadas por las energías terrestres (metamorfismo), y se consideran los mármoles como calizas metamórficas, las cuarcitas como areniscas metamórficas, las pizarras como arcillas comprimidas y transformadas por el metamorfismo, y las gneiss y micasquitos como sedimentos muy metamórficos o tal vez rocas eruptivas, dislocadas y laminadas.

FISIOGRAFÍA

Configuración general del Globo.—El astro que habitamos es un planeta del sistema solar, situado entre Venus y Marte, a una distancia media del Sol de 148 millones de kilómetros; su forma es la de un elipsoide de revolución algo achatado en la dirección del eje; su radio medio es de 6.366 km., su aplastamiento $1/293$ y su densidad de 5'5.

La región central de la Tierra, denominada *endósfera*, nos es desconocida y sobre su naturaleza y estado no es posible por esto emitir más que hipótesis; está recubierta por una costra sólida denominada en razón a su naturaleza pétreo *litósfera* y a cuyo estudio se dirige preferentemente la atención del geólogo. Sobre la superficie desigual de la litósfera descansa una zona líquida denominada *hidrósfera* que no la cubre por completo, pues siendo su masa insuficiente para cubrir todas las desigualdades de la superficie, queda acumulada en las depresiones, constituyendo los mares y los lagos. Los primeros, que son los más importantes por su volumen de agua, alcanzan un nivel prácticamente constante que constituye la superficie, a la cual se refieren los desniveles terrestres y la cual divide a la litósfera en dos partes: la sumergida (mares) y la emergida (continentes). Por último,

una envuelta gaseosa o *atmósfera* de altura desconocida rodea al Globo. Esta disposición corresponde a una ordenación de sus materiales por orden de sus densidades que hace sospechar una fusión primitiva que la consintiera; y siendo 2'5, la densidad media de los materiales que componen la litósfera es preciso atribuir a la endósfera una naturaleza metálica y por tanto una gran densidad (en conjunto, 7'7) para explicar la cifra de 5'5 de la densidad total del Globo, muy superior a la de los materiales de superficie.

Desigual repartición de las tierras y las aguas.

Basta tender la vista por un Mapa Mundi para convencerse de que la superficie de los continentes es mucho menor que la ocupada por los mares. De los 510 millones de kilómetros cuadrados que cuenta la superficie terrestre, 365, es decir, el 72 por 100, están ocupados por las aguas, y los 145 restantes, o sea sólo el 28 por 100, corresponde a las tierras. Se acentúa esta desigualdad considerando independientemente el hemisferio austral, que es esencialmente marítimo, no ocupando en él los continentes más que el 17 por 100 de su superficie, mientras en el boreal se eleva al 40 por 100.

La relación entre la superficie continental del hemisferio boreal y la del austral es de 2'25: 1, es decir, próximamente la misma que hay entre la superficie de los océanos y la de los continentes.

Si se divide la Tierra por un círculo máximo que tenga su polo en el centro de Europa, es decir, en el foco de la civilización, se obtienen dos hemisferios en que la desproporción tiene un valor máximo. El hemisferio continental, cuyo polo (no lejos de España) constituye el punto de concentración de las tierras, tiene casi igual superficie sólida que líquida, puesto que la relación entre los mares y continentes es 1'1 : 1, mientras que en el opuesto, esencialmente marítimo, es de 8'5 : 1.

Forma de los continentes.—Los continentes forman tres masas agrupadas alrededor del polo continental,

que avanzan estrechándose hacia el polo marítimo, estando las tres estranguladas hacia su parte media, lo que permite distinguir en cada una, dos partes, una septentrional y otra meridional. De las tres masas septentrionales, Europa, Asia y América del Norte, las dos primeras están aparentemente unidas, pero en realidad separadas por una gran depresión ocupada en parte por las aguas del Caspio y el Aral. Estas tres masas tienen un contorno más recortado y están separadas por la llamada cintura marítima, de la cual forma parte el golfo de Méjico, el Mediterráneo, Mar Rojo y Océano Índico de las tres meridionales África, Australia y América del Sur, cuyo perfil costero es más firme, ofreciendo un contorno aproximadamente triangular con el vértice sur muy acentuado y desviado sensiblemente hacia el Este (Cabo de Buena Esperanza, con longitud aproximada de San Petersburgo; Cabo Sur de Tasmania, longitud oriental del Japón, y cabo de Hornos, longitud del Labrador). Es curiosa la existencia de tres penínsulas también estrechadas hacia el Sur en la costa meridional de las tres masas septentrionales (ibérica, italiana y balcánica: Arabia, India e Indochina: California, Méjico y Florida) y el marcarse en cada continente meridional un golfo occidental y un cabo oriental, lo que hace aún más marcada la homología de su figura (golfos de Guinea, sur australiano y de Arica y cabos Guardafui, Byron y San Roque).

El contorno caprichoso y recortado y la abundancia de islas en los continentes septentrionales les da una superioridad para el progreso humano por ser el mar un elemento civilizador; así Grecia, uno de los países de contorno más recortado, fué la cuna de una de las primitivas y más florecientes civilizaciones, mientras que Africa, el continente más macizo de todos, ha quedado en un estado de gran atraso.

Las tres masas continentales definen tres océanos que entre ellas se insinúan, estrechándose hacia el Norte, a saber: el Atlántico, Índico y Pacífico, de los cuales el segundo es

el que menos asciende, no llegando a separar Europa de Asia. Por otra parte, en el centro del núcleo continental hay una depresión marina ocupada por el Océano Glaciar Ártico, y el centro del núcleo oceánico se forma una elevación que constituye el continente antártico.

El relieve terrestre.—Por grande que sea la impresión que en nuestro ánimo produzca la vista de una gigantesca cordillera o el conocimiento de la existencia de abismos marinos de más de 9 km. de profundidad, estos desniveles, aunque enormes si se comparan con las dimensiones humanas, no son nada en relación al radio terrestre ni influyen en la forma general del Globo; así el monte más alto que se conoce, el Gaurisankar, del Himalaya (8.840 m.), no es más que $\frac{1}{720}$ del radio de la tierra, y la mayor profundidad conocida, la fosa de las Islas Marianas, 9.636 m., es poco mayor que la más grande altura. Por otra parte, estas grandes alturas y profundidades son completamente excepcionales y el resto de los continentes está muy lejos de alcanzar esas alturas, como los océanos de presentar tan grandes profundidades. Se llama altura media de los continentes la que éstos tendrían si se igualara su superficie, y profundidad media del mar la que ofrecería si su fondo fuera plano, o también la altura que alcanzaría el agua si la supusiéramos en un recipiente cilíndrico en que el área de su base fuera igual a la superficie ocupada por el mar.

Evaluaciones delicadas de la superficie que corresponde a los intervalos de las isoipsas e isobatas han conducido a asignar a los continentes una altura media 700 m. y a los mares una profundidad media de 400 metros. El producto de estos valores por la superficie continental u oceánica da respectivamente el volumen de la tierra emergida, que se evalúa en 100 millones de kilómetros cúbicos, y la cubicación de mar, que se calcula en 150 millones de kilómetros cúbicos de agua. Según cálculos de Penck, si el nivel del mar descendiera 2.285 m., el volumen de agua sería igual al de tie-

rra emergida, por lo que dicho nivel ha sido llamado por Rosineurs *superficie de equideformación*, habiendo tratado de demostrar dicho autor que existe una compensación entre el peso de las aguas y el de las tierras que emergen de dicha superficie.

Distribución real del relieve.—El trazo más característico de la distribución del relieve en el Globo, es el hecho de que las grandes alturas no están en el centro de los continentes, como a primera vista pudiera creerse; así como que los bordes de los océanos no son las partes menos profundas de ellos desde las que paulatinamente el fondo desciende al interior, sino que, por el contrario, tanto unas como otras bordean las costas, enfrentándose de forma que no solamente las alturas y depresiones son accidentes periféricos, sino que se puede asegurar que a toda altura se opone una depresión y naturalmente viceversa.

La distribución del relieve en el Globo se pone bien de manifiesto cuando se imaginan cambios en el nivel del mar. Si el mar descendiera 200 m., el perfil de las costas se regularizaría y todas las grandes masas de tierra, a excepción del continente antártico, de Australia y Madagascar, se soldarían, formando lo que se ha llamado el bloque continental, desaparecerían el Báltico, el Mar del Norte y el Canal de la Mancha; Nueva Zembla y Nueva Siberia dejarían de ser islas, así como las del archipiélago de la Sonda; desaparecerían el Mar Amarillo y el Golfo Pérsico, así como el estrecho de Bering; la Bahía de Hudson se reduciría a un pequeño lago y Tasmania y Nueva Guinea se soldaría a Australia, pero ninguna nueva unidad continental aparecería. Lo mismo ocurriría si el descenso fuera de 2.000 m., aunque el bloque continental ganaría mucho en extensión por la anexión del Spitzberg, la tierra de Francisco José, Islandia, Groenlandia (quedando incomunicados el Océano Glaciar Artico y el Atlántico), Australia, desaparecería el estrecho de Gibraltar, el Mar Rojo y quedarían convertidos en lagos el

mar de la China, el del Japón, el de Okhostsk y el de Bering; pero la individualidad de los continentes subsistiría no sólo por conservarse los océanos, sino porque la cintura marítima, aunque empequeñecida, estaría representada en el Mediterráneo por tres fosas (la occidental, la tirrena y la oriental), separando Europa de Africa; otras tres fosas (Julú, Cebeles y Banda) marcarían la separación de Asia y Australia, y tres también (Golfo de Méjico, Yucatán y Caribes), la de ambas Américas.

Si la variación del nivel del mar la imaginamos en sentido inverso, los cambios serían más marcados, pero conduciendo siempre al mismo resultado de dejar incólumes la individualidad de las masas continentales; así un levantamiento de 500 m. del nivel del mar haría perder a la tierra firme más de la mitad de su superficie.

Disimetría de las líneas de relieve.—La situación costera y la oposición de las alturas y depresiones se explica por la ley de disimetría enunciada por Lapparent de la siguiente manera: «Toda línea de relieve o de cordillera es una artista saliente, cuyas dos vertientes están desigualmente inclinadas; la más abrupta conduce bruscamente a una depresión generalmente ocupada por el mar, mientras que la otra desciende dulcemente hacia una depresión menos marcada, por lo común continental. La depresión que está al pie de la vertiente abrupta, es a su vez una artista en hueco, cuyo talud brusco conduce a la gran altura, mientras que el de pendiente moderada sube poco a poco hasta las regiones de profundidad media de los mares». Comprendida esta ley, es fácil concebir la oposición de las alturas y las profundidades y la proximidad del mar a las grandes líneas de relieve; así nuestros Pirineos tienen su vertiente abrupta al Norte, que conduce al próximo mar Cantabrico, y en la penibética, que es la sur, al Mediterráneo; pero claro es que la existencia de una altura no implica la de un mar próximo, sino de una depresión que puede estar o no

ocupada por el mar; así los Urales tienen sus dos vertientes continentales, pero la oriental, que es la abrupta, se hunde en la depresión Aralocaspiana; el Himalaya tiene su vertiente norte dulce que forma las altas mesetas del Tibet, mientras la sur baja bruscamente a las bajas llanuras de la India, desde las cuales parece una gigantesca muralla; de la misma manera los pueblos de Navarra y del Alto Aragón, situados en la pendiente dulce de los Pirineos, están mucho más altos que los lugares franceses situados a la misma distancia que ellos de dicha cordillera; pero en general, las cordilleras bordean los continentes, teniendo como ya hemos dicho una situación costera; tal sucede con los Andes, la Sierra Nevada, y Alleghany, de los Estados Unidos, el Atlas y ,demás cordilleras africanas, etc.

Asimetría del dibujo geográfico.—Es conveniente consignar que la distribución de los continentes y los mares es asimétrica con respecto al centro de la Tierra, pues en general, o todo continente se opone un mar. Los continentes y los mares son, son pues, elementos antípodas, y sólo una vigésima parte de la Tierra firme ve coincidir sus antípodas con superficies continentales, como es el caso de España, cuyo antípoda es Nueva Zelanda. La asimetría de la figura geográfica ha conducido a los geólogos a comparar la Tierra con un tetraedro, sólido también asimétrico con relación a su centro, siendo los mares las caras del tetraedro y los continentes sus vértices, encontrando así la razón de la forma de los continentes. Se explica la forma tetraédrica de la Tierra por la contracción que ha sufrido en su enfriamiento, que la ha obligado a adoptar la forma que posee menor volumen con una superficie dada, circunstancia realizada por el tetraedro. Las tres aristas del tetraedro, que representan las tres masas continentales; (fig: 92) y que

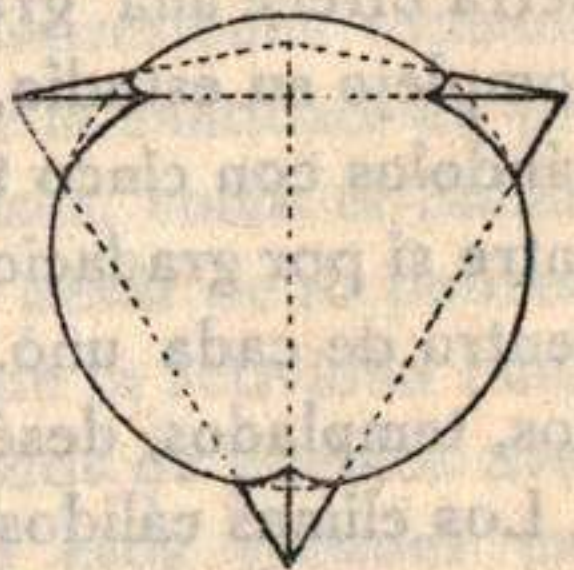


Fig. 92.

se reúne en el vértice, representado por el continente antártico, han sufrido una torsión y una rotura que explica respectivamente la desviación de las masas continentales hacia el Este y la existencia de la cintura marítima,

La teoría tetraédrica tiene en su apoyo una comprobación experimental. Si se hace el vacío en una pelota hueca de goma la compresión originada por la presión atmosférica la hace tomar una forma tetraédrica en virtud de la razón ya dada; nada más lógico suponer que al verificarse la contracción terrestre ocurrió lo mismo, si bien la figura tetraédrica de la costra terrestre se nos aparece algo velada por la cubierta líquida, de la cual sólo sobresalen los vértices y parte de los aristas del tetraedro.

Climatología.—Clima es el conjunto de los fenómenos atmosféricos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto de la superficie terrestre. El conocimiento del clima exige el de los valores medios y extremos, diarios y anuales de la temperatura, presión y humedad de la atmósfera, así como también el régimen de los vientos. Los principales factores del clima son la latitud, la altura, la situación y la orientación.

Clasificación de los climas.—La superficie de la tierra ofrece una gran variedad de climas que hacen muy complejo su estudio, pero que pueden distribuirse relacionándolos con cinco tipos principales, enlazados desde luego entre sí por gradaciones intermedias y ofreciendo variantes dentro de cada uno. Estos cinco tipos son los climas cálidos, templados, desérticos, fríos y montañosos.

Los climas cálidos situados entre las isoterms de 20° , de muy pequeña oscilación anual, termométrica (menor de 5°) muy fuerte variación diaria son hostiles al europeo, y en ellos la vida se desarrolla con una exuberancia sin igual. Estos caracteres están especialmente marcados en las variedades *ecuatoriales* de la Sonda y Nueva Guinea, en los que la temperatura, muy uniforme durante todo el año, supera a 25° ,

(temperatura media) la nebulosidad es grande; el régimen pluviométrico, muy inestable, con dos épocas de máxima anuales; la presión atmosférica, muy constante y baja; la atmósfera, caliginosa, húmeda y en calma, parece la de un invernadero; la vegetación no conoce etapa de reposo: siempre exuberante, mantiene una rica y variada fauna, y las razas humanas son indolentes y poco progresivas.

Al Norte y Sur de estos climas se extienden los *tropicales* en que los dos máximos de lluvias se aproximan o fusionan, originando una estación de grandes lluvias que alterna con otra seca: la variación anual térmica y la barométrica están algo más acentuadas. Estos climas, en que la vegetación desaparece para reaparecer con una exuberancia análoga a la de los anteriores, en relación a la variación periódica de la pluviosidad, se extienden en derredor de los anteriores en África y América del Sur, Méjico y Norte de Australia.

Una tercera variedad puede admitirse para los países como la India, influenciados por los monzones, donde la periodicidad de la humedad llega a la mayor exageración. Un periodo de desoladora sequía alterna con otro de torrenciales lluvias, que aumenta el monzón.

Fuera de la zona cálida, en el interior de las grandes masas continentales, ocupando grandes depresiones rodeadas de montañas, existen territorios en que la cantidad de precipitaciones es pequeñísima; estos países, como el Sahara, la Arabia y la región Aralocaspiana, a pesar de su pobreza, no son contrarios a la manifestación de la actividad humana; sus desiertos y estepas están poblados de pueblos aventureros y en ellos se han elaborado esos grandes éxodos que como la irrupción bárbara y mahometana, han alterado el curso de los acontecimientos históricos. Contra lo que vulgarmente se cree, lo que determina el clima desértico no son las elevadas temperaturas, sino las débiles precipitaciones. En América, aunque no ocupan la extensión que en el antiguo continente, no faltan los desiertos-

al contrario, en el Perú y al Norte de Chile existen los más desolados desiertos, fríos, sin lluvias, pero muy nebulosos que constituyen el clima más ingrato del Globo y donde la Naturaleza se muestra más inhospitalaria. Se observa también el clima desértico en África del Sur (Kalahari), Australia, Patagonia, California (Yuma) y Oregón.

En los países templados la media anual es inferior a 20° y la oscilación térmica anual, muy marcada, debiéndose a ella la periodicidad de la vegetación. Son estos países los que parecen más propicios al desarrollo de la civilización, y en ellos se distinguen los climas *subtropicales*, en que no hay estación fría, y los *templados* propiamente dichos, que la poseen. A los primeros pertenecen los países mediterráneos, caracterizados por la sequedad de la estación cálida, en que toda vegetación se agosta, mientras en el Sur de la China este tipo de clima se ofrece con una humedad constante, debido a la influencia del monzón, lo cual, en unión a la falta de estación fría, origina un clima muy propicio al desarrollo de la vegetación arborescente, que da al paisaje un encanto y una belleza peculiar.

Los climas templados, propiamente dichos, se extienden principalmente al norte de los 45° de latitud Norte, y están particularmente desarrollados en Europa, no ofreciendo en el resto del mundo el desarrollo que parece debería corresponder a la gran extensión de los continentes en estas latitudes, pues los desiertos y las cadenas montañosas les disputan en Asia y América del Norte su terreno. Climas templados se encuentran también en la República Argentina, SW. de Africa y de Australia.

Los climas fríos, principalmente situados en el interior de los círculos polares, hacia donde termina la vegetación arbórea, son comparables, bajo el punto de vista de la vida, a los climas desérticos; pero en ellos la ausencia de la vida se debe, no a la falta de humedad, sino a la de calor, y en sus regiones más genuinas faltan los animales y plantas úti-

les y por tanto el hombre. Fuera del círculo polar se extienden estos climas en el interior de las masas continentales por Siberia, Rusia, Canadá, Escocia y la península Escandinava; en la primera se han observado las más bajas temperaturas (-72° en Irkoutsk), y si se tiene en cuenta que en estío sube hasta $+31^{\circ},5$ se podrá formar idea de la gran oscilación máxima (103°).

Las regiones elevadas, sea cualquiera su situación geográfica, difieren climatológicamente de las tierras bajas que las rodean, por hecho esencial del menor valor de su presión atmosférica, resultado de la rarefacción del aire de las montañas. La presión y la temperatura descienden con la altitud, y las oscilaciones diurna anual de la temperatura están amortiguadas; en una misma montaña, las condiciones climatológicas de las dos vertientes son muy distintas. La humedad aumenta con la altitud, y desde un límite variable con la latitud, exposición, etc., están revestidas de nieves perpetuas. El límite de las nieves perpetuas se eleva a 5.800 metros en algunas montañas tropicales, como el Kili-mandjaro, en los Pirineos, y en los Alpes está sólo a 2.800 metros de altura, y en el Spitzberg apenas alcanza 500 metros sobre el nivel del mar.

Las montañas cambian la dirección y la temperatura de los vientos, y engendran, por sus diferencias climatológicas con los países que las rodean, vientos especiales, como las brisas de montaña y valle, cuyo origen es el mismo que las de mar y tierra.

Los climas montañosos en las regiones cálidas están caracterizados porque la isoterma de 0° está por encima de la zona de precipitaciones máximas, por lo que se desarrolla una región estépica entre los árboles y la de las nieves perpetuas, y porque la perpendicularidad de los rayos solares hace poco distintas las dos vertientes en el sentido térmico, cuyos contrastes son debidos a las diferencias de pluviosidad, la cual regula la altitud de las nieves perpetuas, por lo

que su límite es más bajo en los climas ecuatoriales que en los tropicales.

En los climas montañosos templados y fríos la diferencia de climatología de las vertientes tiene un papel preponderante por la oblicuidad de los rayos solares, que hace tan variada su climatología y su régimen de vientos.

Oceanografía.—El estudio del mar ha sido acometido por los naturalistas en estos últimos años con un ardor digno de todo encomio. Los sondajes que antes se habían hecho principalmente por su utilidad a la navegación, se han multiplicado extraordinariamente a fin de fijar el relieve submarino y conocer la naturaleza del fondo, y a las determinaciones de las propiedades físicas y químicas del agua se las ha concedido una atención particular, principalmente a fin de determinar las cualidades del agua como medio biológico. Comisiones permanentes nacionales e internacionales para la exploración del mar y múltiples Estaciones y Laboratorios de biología marina se han fundado en todos los países cultos; recordemos, en Europa, entre las más principales, la *Estación biológica de Nápoles* y el *Museo oceanográfico de Mónaco*, y en España, la *Estación de biología marina de Santander* y el *Laboratorio biológico de Baleares*.

Por otra parte, buques laboratorios han recorrido los mares, y a ellos debemos el conocimiento científico de éstos. La campaña del buque inglés *Challenger* (1873-76) ha dado lugar a la publicación de 50 gruesos volúmenes, donde están recopiladas las valiosas investigaciones realizadas en él. La del navío americano *Tuscanora* (1874-76), en el Pacífico; las de los alemanes *Gacelle* (1875-76) y *Valdivia* (1898-99), en los tres océanos; las de los franceses *Travailleur* (1881) y *Talismán* (1883), en el Atlántico; las del yate *Princesa Alicia*, del príncipe de Mónaco, y del *Amalia*, de Carlos I de Portugal, han sido muy fructuosas. Por último, el navío austriaco *Pola* nos ha dado a conocer el Mar Rojo, y el escandinavo *Fram*, el Mar del Norte.

Gracias a las potentes máquinas de sondar empleadas en las expediciones submarinas se tiene hoy un gran conocimiento del relieve del fondo del mar y se han podido trazar mapas como el del Príncipe de Mónaco de escala 1: 10.000,000.

El trazo principal del relieve submarino es la existencia de una plataforma que rodea a los continentes, tanto más ancha cuanto menor es el relieve de la tierra que envuelve, y que está limitada por la isobata de 200 metros. Se denomina *plataforma continental*, y se continúa por un talud abrupto hasta fondos de 3 a 5.000 metros (*región pelágica*); la inclinación de este talud se advierte en los mapas por el hecho de que la isobata de 2.000 metros acompaña de cerca a la de 200. Los grandes fondos superiores a 5.000 metros son escasos, próximos a las grandes líneas de relieve, y constituyen la *región abisal*.

El Atlántico está separado del Océano Glaciar Ártico por un puente de profundidad menor de 1.000 metros, que enlaza Europa y América por intermedio de Islandia y Groenlandia; este puente submarino, llamado *dintel de Wyville Thomson*, incomunica las cuencas profundas del Ártico y del Atlántico. Éste ofrece además una cresta submarina longitudinal, jalonada por las islas Azores, San Pablo, Ascensión y Tristán de Acuña, algo sinuosa por ser groseramente paralela a las dos costas, dibujando el saliente del Brasil y el entrante del Golfo de Guinea, cresta interrumpida a nivel del Ecuador por un canal de 7.000 metros que relaciona las dos fosas longitudinales, oriental y occidental, en que la cresta atlántica divide a su océano.

El Pacífico, mucho más ancho que el anterior y cerrado al Norte, no ofrece cresta mediana, y sí platafoamas, de donde surgen las islas. Las grandes profundidades son costeras (fosa de Chile, de las Kuriles y Aleutianas), y a él pertenecen las mayores conocidas (fosa de las Tonga, 9.427 metros, y sobre todo la de las Carolinas, 9.636 metros).

El Océano Indico avanza menos al Norte y posee menos islas, comunicando libremente, como los otros dos, por la parte meridional con el anillo marítimo austral que relaciona los tres océanos.

El interés oceanográfico del conocimiento de los materiales de fondo es tan grande, que no debe hacerse un sondaje sin tomar una prueba de ellos. Los modelos para estas investigaciones son variadísimos.

La naturaleza de los sedimentos que se acumulan en el fondo del mar depende, muy principalmente, de la profundidad. La plataforma continental está constituida por materiales *terrígenos*, es decir, por aportes de los continentes, siendo estos materiales más densos y variados en la proximidad de la costa (cantos rodados, arenas), mientras a cierta distancia el fondo es uniformemente un cieno arcilloso con nódulos de fosforita. En la zona pelágica se distinguen los cienos terrígenos o de transición a los verdaderamente pelágicos, entre los cuales se distinguen los silíceos, propios de

los mares fríos (*cieno de diatomeas*), los calizos de los mares tropicales (*cieno de globigerinas y cieno de pterópodos*), y, por último, los depósitos abisales, a los que sirve de intermedio el *cieno de radiolarios*, están constituidos por arcilla roja de los grandes fondos, a veces con dientes de tiburones.

La temperatura del mar se determina mediante termómetros de precisión, que, cuando están destinados a dar la temperatura de una capa profunda, van acompañados de un dispositivo que, al ser elevados, les invierte fraccionándose la columna y dando a la

temperatura de la capa en que se produjo la inversión, sin ser influenciados por las capas superiores, de temperatura distinta (fig. 93).

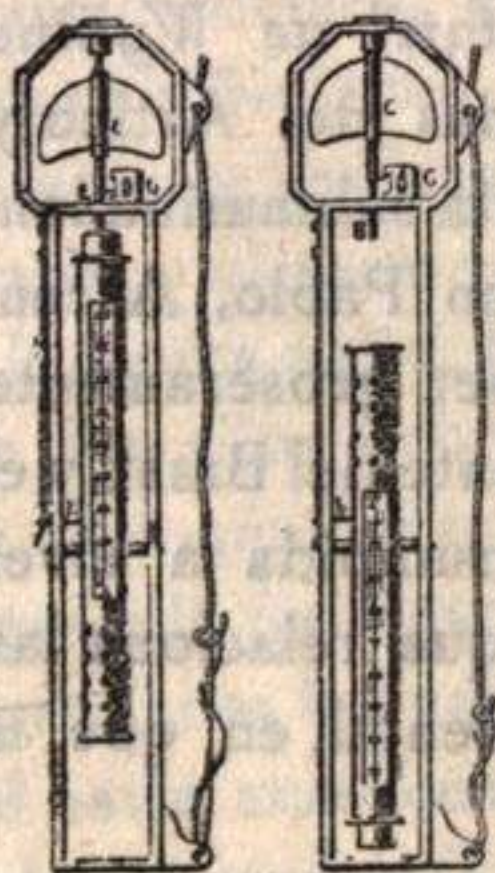


Fig. 93.

En general, la temperatura del mar en superficie difiere poco de la del aire, y sigue las mismas variaciones, aunque más atenuadas y algo retardadas, todo ello en virtud de la gran capacidad calorífica del agua, y por la misma razón la diferencia entre la temperatura del mar y la del continente es especialmente marcada en los climas extremos. La temperatura en superficie es particularmente perturbada en donde las corrientes marinas hacen sentir su influencia.

En profundidad, la temperatura en general decrece, y a partir de 2.000 metros se encuentra siempre una temperatura inferior a 3°. La estratificación térmica normal se observa en los mares cálidos, siendo más cálidas en superficie las aguas tropicales que las ecuatoriales, pero descendiendo aquéllas más rápidamente en profundidad. En los mares fríos es curiosa la existencia de una estratificación térmica inversa, extendiéndose una capa fría especialmente en el Pacífico Norte, menos fría que el Atlántico en su superficie, pero más en profundidad. En el Antártico la temperatura en superficie es muy fría, lo que consiente grandes viajes a los hielos flotantes antes de encontrar aguas tibias donde deshacerse, por lo que se encuentran en más bajas latitudes que en el Atlántico norte (el Pacífico no tiene hielos flotantes por su alta temperatura en superficie), y se supone que las aguas frías del fondo de los océanos son de procedencia antártica, cuyo mar tiene las aguas más frías en profundidad y en su superficie hay un aporte compensador de aguas calientes de los tres océanos que concurren desembocando en el Antártico. Por último, los relieves submarinos impiden la homogeneidad térmica de capas profundas, y así el dintel Wyville Thomson es la causa de la distinta estratificación térmica del Atlántico y Ártico.

El agua de mar no es pura, sino que posee en disolución diversas sustancias (cloruros de Na, Mg y K; sulfato Mg y Ca, etc.)

Existe también materia orgánica y los gases del aire e

disolución; pero en lugar de la proporción N 79; O 21, la de N 65: O 35, y menor proporción de anhídrido carbónico, y en cantidad infinitesimal existen otros muchos elementos, entre ellos el oro. La salinidad o cantidad de sales que posee el agua de mar es una de las causas principales de su circulación: aguas de 4° pueden sobrenadar a otras más cálidas o frías si su salinidad es pequeña y la riqueza en sal determina el hundimiento de las capas de aguas que por su temperatura quedarían en la superficie. Por otra parte, la propiedad de las sales disueltas de rebajar el punto de congelación de los líquidos, es la causa de la influencia de la salinidad en la producción del hielo en la superficie de los océanos.

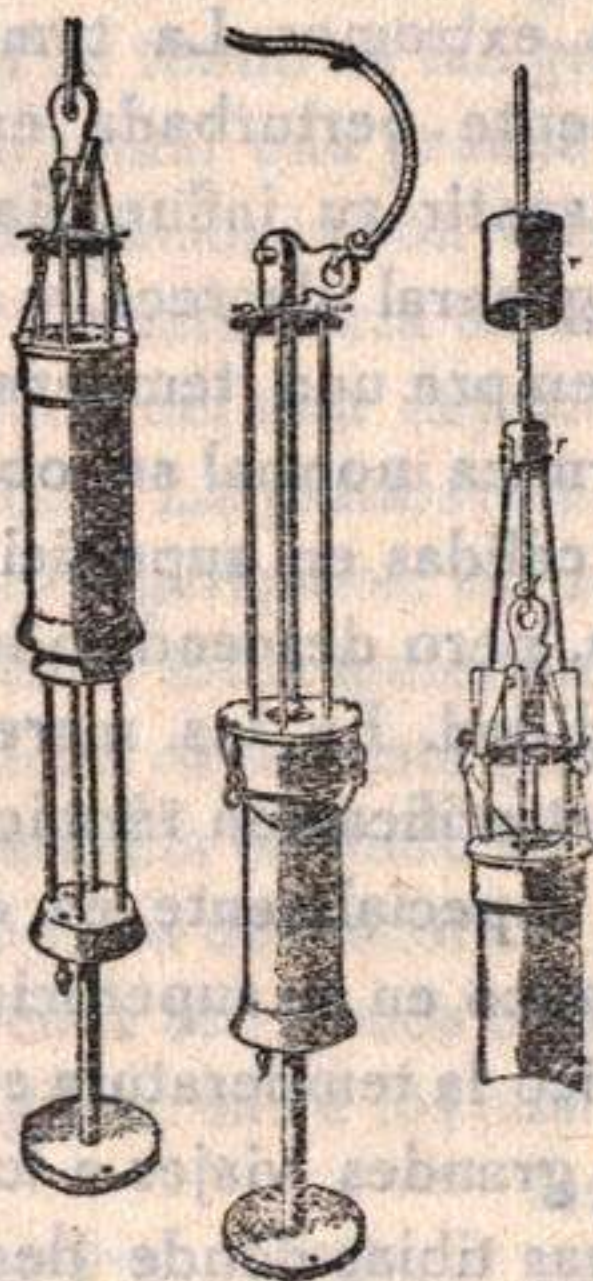


Fig. 94.

La recolección del agua de capas profundas para la determinación de la salinidad y de otros caracteres, exige botellas especiales, como la de Meyer, (fig. 94). que consta de un cilindro abierto por sus dos extremidades y suspendido de un gancho; se desengancha al tocar el fondo y, cayendo, queda cerrado por los tapones y lleno de agua del mar de fondo. Si lo que se desea es recoger agua en una capa intermedia a una profundidad determinada, se agrega un mecanismo suspensor de la botella, que se desengancha cuando ha llegado a la profundidad deseada, deslizando por el hilo de sonda un mensajero de plomo. En los grandes fondos la presión es tan enorme que es preciso emplear botellas muy resistentes para que no se rompan por implosión. Esta enorme presión comprime de tal manera el agua, que Tait ha calculado que una columna de agua de mar de 9.000 metros pierde por la compresión 190 metros. Esta pérdida, distribuyéndola, pro-

duce una pérdida de 190 metros. Esta pérdida, distribuyéndola, pro-

duciría un descenso de 35 metros de nivel del mar, aumentándose con ello 5.000.000 de km.² el dominio de la tierra firme.

La salinidad en la superficie depende del clima, en relación con la evaporación y las precipitaciones; la primera concentra, la segunda diluye; así, la salazón es mayor en los mares tropicales que en los fríos, por ser mayor la evaporación, así como también es mayor en la región de los vientos alisios que en la zona de las calmas, ya que el viento facilita la evaporación. En profundidad, la salinidad nos sirve para delatar la circulación del agua en el mar, que es debida principalmente a la diferente densidad, originada por la distinta salazón: así las aguas muy saladas descienden al fondo, y en los estrechos, corrientes dobles tienden a equilibrar las salazones diversas de los mares.

El color y la transparencia del agua son también propiedades interesantes que se determinan con escalas colorimétricas, el primero; midiendo la profundidad a que desaparece un disco pintado con blanco de cerusa, la segunda. Se distinguen en el sentido vertical dos regiones: una *diáfana* y otra *afótica*, separadas por la isobata de 400 metros. Por debajo de ésta las placas fotográficas dejan de impresionarse.

Los movimientos del mar son de tres clases: las olas, las mareas y las corrientes marinas. Las olas son movimientos superficiales ondulatorios, producidos por el viento; su altura puede llegar a siete metros y su longitud de onda o distancia de una ola a otra, a 500. Las mareas son también movimientos periódicos producidos por la atracción del Sol y de la Luna, por lo que tienen su máxima elevación cuando dichos astros están en conjunción. El desnivel producido en los mares puede llegar a 15 y 18 metros, y se mide en escalas verticales colocadas en todos los puertos.

Las corrientes marinas, al contrario de los movimientos anteriores, forman una verdadera circulación oceánica, y se

estudian lanzando aparatos flotantes. La más importante es el *Gulf-Stream* o corriente del golfo: las aguas calientes y saladas del golfo de Méjico se lanzan al Atlántico, formando en el océano un verdadero río que marcha a una velocidad de ocho kilómetros por hora, con un caudal de 33 millones de metros cúbicos por segundo, y que al salir del canal de la Florida, desviada a la derecha por la rotación de la Tierra, se hace SE.; después, O., dividiéndose en dos ramas; la una desciende por las costas de Portugal y África, formando un bucle, en cuyo centro se almacenan algas flotantes, formando el curioso mar del *Sargazo*, y la otra, costeando la Europa, suaviza el clima de ésta y funde los hielos polares de Islandia. Además de esta corriente, existen otras muchas, dando lugar a una complicada circulación oceánica, algo análoga a la atmosférica.

Los mares presentan caracteres que les distinguen de los océanos, y que son más marcados cuanto menos comunicación tienen con ellos; sus mareas son menos pronunciadas. El mar Polar está separado del Atlántico por dinteles que impiden el intercambio de sus aguas profundas; el Mediterráneo, situado en una región casi desértica, de gran evaporación y pocas precipitaciones, es un mar de aguas saladas y densas, a pesar de recibir ríos tan caudalosos como el Nilo; en virtud de la ley de vasos comunicantes, su nivel es más bajo que el del Atlántico, del cual recibe por el Estrecho de Gibraltar una corriente superficial, mientras que otra inversa, de aguas mediterráneas saladas y densas, camina debajo de ella; pero en razón de la poca profundidad del estrecho, esta circulación insuficiente no aprovecha más que a las capas superficiales. La salinidad es todavía mayor en el Mar Rojo, situado en el corazón de la región desértica y sin recibir cursos de agua de importancia ni comunicar más que con el océano Índico, el más salado de los océanos, por el angosto estrecho de Bad-el-Mandel. Al tipo completamente opuesto pertenece el Báltico, mar frío y desalado por la

falta de evaporación y los caudalosos cursos de agua que recibe, y sólo en la profundidad de los estrechos daneses la salinidad es algo mayor por las corrientes que recibe del mar del Norte.

Particularísimo es el mar Negro, más aislado todavía que los anteriores; su comunicación con el océano es casi nula, y con el intermedio del Mediterráneo, el clima es seco y relativamente cálido, pero recibe las aguas de poderosos ríos para su volumen; mas estas aguas ligeras son atraídas por los Dardanelos en virtud de la gran salazón del Mediterráneo, por lo que el mar Negro, que aparece superficialmente desalado para los efectos de sus relaciones con el Mediterráneo, tiene en su profundidad estancadas aguas saladas y cargadas de materias orgánicas que hacen imposible la vida. Este mar, que era un lago dulce, vió perecer su fauna al abrirse la comunicación con el Mediterráneo, por efecto de las aguas saladas, que, por su gran densidad, se acumularon en el fondo junto con los cadáveres de toda su fauna, que murió con la invasión de las aguas saladas, y cuyos productos de descomposición han quedado allí por falta de renovación de las aguas del fondo.

Limnología.—El estudio de los lagos o limnología constituye una ciencia que, a pesar de ser reciente, es hoy una de las ramas más cultivadas de la Geología. Gran número de investigadores se han dedicado a ella con afán, y las revistas y obras limnológicas forman una copiosa bibliografía. Muchos lagos han sido ya objeto de completísimos estudios, unos por investigadores aislados otros por Comisiones, gran número de Laboratorios e Institutos hidrobiológicos se han fundado para el estudio asiduo de los lagos y de los seres de las aguas dulces. En España estos estudios están apenas iniciados; nuestro *Laboratorio de Hidrobiología del Instituto de Valencia*, hoy incorporado al Museo Nacional de Ciencias Naturales, constituye un primer intento.

La limnología, por sus métodos, es en todo comparable a

la oceanografía; pero el estudio de los lagos constituye un asunto más abordable, por lo que los problemas limnológicos pueden ser resueltos con nuestros actuales medios.

Una transición insensible hay entre los mares interiores y los lagos, pero consideraremos como tales aquellas masas de agua que están completamente incomunicadas de los océanos, bien que muchos se denominan mares (mar Caspio, mar de Aral, mar Muerto), y sus aguas sean saladas. Todo lago es pues, una depresión en donde se almacenan las aguas recogidas en su cuenca hidrográfica. Generalmente todo lago da nacimiento a un río por donde rebasa el sobrante de agua; pero existen también lagos completamente incomunicados que no originan emisario y que se denominan cerrados.

Atendiendo a su profundidad y a su extensión, se dividen los lagos en lagos propiamente dichos cuando son profundos y extensos; lagunas si su extensión es menor y su profundidad más débil, lo que consiente el desarrollo de las plantas sumergidas en toda la extensión del fondo, y pantanos cuando la profundidad es todavía menor, por lo que pueden desarrollarse en su interior, plantas acuáticas con parte aérea que emerge fuera del agua.

Atendiendo a su origen se distinguen dos clases de lagos: los que se han formado por acumulación del agua en una depresión del terreno preexistente y los que se han constituido por obstrucción de un canal natural de evacuación de las aguas. A los primeros pertenecen los *lagos tectónicos*, a los que corresponden los más extensos, profundos y estables como los lagos americanos del Oregón, los grandes lagos africanos (Victoria Nyanza, Tanganica. etc.). A veces la depresión primitiva es un antiguo cráter de un volcán que impone al lago una forma más o menos circular y que está evidentemente desprovisto de afluentes; estos lagos no alcanzan nunca grandes proporciones, siendo el más grandioso de todos el Cráter-Lake, de los Estados Unidos, que tiene

seis kilómetros de diámetro y seis y medio de profundidad. Los lagos de obstrucción son siempre más pequeños y temporales; pudiendo dividirse, según deban su origen a un glaciar, a un río o al mar respectivamente, en *glaciares*, como los lagos suizos; *fluviales*, como los que acompañan al Misisipi, y *litorales*, como los tan frecuentes en las costas mediterráneas y bálticas.

Todos los lagos son, aun los más estables, aparatos geográficos de gran caducidad y amenazados de una extinción más o menos lenta, por lo que son siempre formaciones características de las formas juveniles del terreno; colaboran en la anulación de los lagos dos factores principales: el descenso de nivel que acentúa constantemente el emisario por desgaste de su cauce, y el levantamiento del fondo por el depósito de los materiales acarreados por los afluentes. En esta anulación el clima puede también colaborar eficazmente.

En los lagos de agua dulce, que son la mayor parte, el régimen térmico es muy distinto del de mar, siendo su principal carácter la gran variabilidad térmica de las capas superficiales, mientras las del fondo y con ellas la mayor parte de volumen de agua del lago, poseen una temperatura constante de 4.°, a la cual el agua tiene su densidad máxima. Depende esto de que en la estación cálida, aunque la superficie se calienta fuertemente, el agua caliente sobrenada por su ligereza sin mezclarse con las capas inferiores frías, mientras en invierno el agua superficial desciende cuando su temperatura se aproxima a 4.°, quedando en superficie si el descenso térmico continúa y pudiendo llegar a helarse, mientras las aguas del fondo quedan a una temperatura superior al punto de congelación. Estas dos zonas, la superficial o de temperatura muy variable, y la profunda o constante, más cálida que la primera en la estación fría y más fría en la cálida, están separadas hacia la isobata de diez metros por un brusco escalón térmico, positivo o negativo, según la época, y que se denomina capa crítica.

Bajo el punto de vista térmico se pueden distinguir tres tipos de lagos. Los tropicales, en que la superficie no solamente no se hiela nunca, sino que no desciende a 4° , por lo que en ellos la temperatura desciende continuamente en profundidad, teniendo la capa crítica muy marcada. En los lagos templados la temperatura es superior o inferior a 4° según la estación, por último, en los lagos polares la temperatura es constantemente inferior a 4° y durante largas temporadas permanece helada, siendo constantemente la regla la estratificación térmica inversa.

En el régimen térmico de los lagos influyen además del clima otras causas, como la forma y topografía de la cubeta lacustre que puede favorecer el establecimiento de corrientes que faciliten la mezcla de aguas de temperatura diferente, así como el recibir afluentes glaciares o fluviales cenagosos, cuyas aguas por ser turbias se hunden aunque sean térmicamente más ligeras, con lo que influyen y modifican la temperatura de fondo.

Las variaciones de nivel pueden ser producidas por movimientos o por variaciones del volumen del agua. A las primeras pertenecen ciertas desnivelaciones periódicas que se atribuyen a movimientos de vaivén del agua en la cubeta lacustre, producidas por la diferente presión atmosférica en los diversos puntos de la cubeta lacustre, lo que origina desnivelaciones seguidas de movimientos de la masa líquida en su tendencia a conservar su superficie plana y horizontal. También se observa en los lagos corrientes y oleaje producido por el viento y que puede llegar a ser peligroso para las pequeñas embarcaciones.

Las variaciones temporales de nivel producidas por el régimen hidráulico del lago son particularmente interesantes. El volumen, y por consecuencia el nivel de un lago, depende del equilibrio entre la alimentación y la pérdida de agua. La alimentación proviene de los ríos que en él desembocan (A), que se denominan afluentes, de los manantiales (M),

y de las precipitaciones que en su superficie recibe en forma de lluvia, etc. (LL). La pérdida de agua es debida al caudal que aporta el río, que expulsa su sobrante y que se denomina emisario (E), al cual hay que agregar la pérdida de evaporación (V) y por infiltración (I). Analizando la fórmula

$$A + M + LL \begin{matrix} > \\ = \\ < \end{matrix} E + V + I$$

podemos distinguir tres clases de lagos: aquellos que en el primer termino es mayor, su nivel aumenta, mientras en los que es menor disminuye, permaneciendo estacionario en el caso frecuente de ser ambos términos iguales.

Se ve que por lo tanto la causa principal de las variaciones de nivel, tanto estacionales como seculares de los lagos es el clima, con el que la estabilidad de un lago está en estrecha dependencia.

La composición del agua varía mucho de unos lagos a otros, dependiendo de la naturaleza litológica de la cuenca y del régimen hidráulico, lo cual tiene una gran influencia en la biología del lago, y aun en un mismo lago las variaciones estacionales son grandes. En general los lagos cerrados son los que tienen el agua con mayor residuo fijo.

La transparencia del agua, su color, la naturaleza del fondo, son también caracteres de gran importancia limnológica.

La cantidad de sales que contiene el agua dulce es evidentemente muy variable; las de terrenos graníticos apenas poseen más de 20 a 80 miligramos por litro, mientras las de algunos lagos salados sobrepasan a las del mar.

Además de la menor cantidad de residuo fijo, distingue al agua dulce, con relación a la del mar, el que mientras la proporción relativa de los sulfatos es poco diferente, y hay una gran pobreza de cloruros y bromuros y relativamente una gran abundancia de carbonatos, así como también en sílice; óxidos y substancias orgánicas.

La cantidad de gases, y especialmente de O y de CO₂, tiene también una gran influencia en sus condiciones de habitabilidad del agua.

Potamología.—El estudio de los ríos ofrece un interés particular, porque estos aparatos geográficos son los más activos modificadores de la faz de la Tierra, y porque la vida humana está en una estrecha dependencia con ellos. A sus orillas han nacido los principales centros de población; sus valles constituyen las vías de comunicación por donde el tráfico se desenvuelve; mansos y perezosos, sirven para la navegación, rápidos y torrenciales, proporcionan la más económica fuerza motriz; sus aguas fertilizan los terrenos colindantes, y sus avenidas amenazan frecuentemente las poblaciones ribereñas y los campos limítrofes; su fauna proporciona seres alimenticios: así, el hombre ha mirado siempre con interés a sus ríos, y la personificación de los ríos es un hecho general a la mayor parte de las mitologías.

Al estudio de los ríos se consagra hoy día una atención especial en todos los países cultos. Recientemente también, establecimientos científicos algunos flotantes se han establecido para el estudio biológico de ellos.

Los ríos son los aparatos destinados a conducir al mar el agua que cae sobre los continentes, la cual desciende por ellos, por la sola acción de la gravedad por lo que la altura de los puntos sucesivos de un río va progresivamente decreciendo del nacimiento al mar. Se llama *cuenca hidrográfica* de un río la extensión de terreno en la cual todo el agua que sobre ella cae afluye a dicho río. Toda cuenca hidrográfica está separada de las adyacentes por una línea de alturas mayores o menores que constituye su *divisoria de aguas*.

Los ríos que desembocan directamente en el mar se denominan primarios y son el tronco de una red hidrográfica más o menos complicada, formada por sus afluentes o ríos secundarios, por los afluentes de ellos o terciarios, etc.

En todo río se distinguen un lecho menor, que es el que ocupa generalmente, que se continúa con las riberas, más o menos planas, que invade en sus crecidas, formando el lecho mayor, a partir del cual las pendientes se hacen más pronunciadas, constituyendo el *valle*, que recibe el nombre de *garganta* cuando las laderas son muy abruptas.

Cortando el río por un plano perpendicular a su dirección, se obtiene una *sección*, que se calcula mediante sondeos, sumando las áreas de los trapecios mixtilíneos en que queda dividida. La línea inferior, sobre la que pasa el agua, se denomina *perímetro mojado*. La forma del cauce y del valle dependen de la naturaleza del río; así, los ríos rápidos tienen un lecho mayor reducido, un lecho menor profundo y un valle en garganta, mientras que los grandes ríos de curso lento se deslizan perezosos en dilatados y anchurosos valles.

La velocidad de un río depende de su caudal y de su pendiente. La influencia del caudal se hace bien sentir en las crecidas, durante las cuales, permaneciendo constante la pendiente, aumenta la velocidad, por aumentar el caudal. La pendiente disminuye el rozamiento del agua contra el lecho; por esto, cuando la pendiente es débil, el río se ensancha, aumentando el perímetro mojado, y por ende el rozamiento y la velocidad se amortigua, estancándose el río perezosamente en anchos remansos. La velocidad de un río varía en los diversos puntos de su sección, teniendo su valor máximo según una línea que no coincide en general con la central del río. La velocidad media se obtiene generalmente de la velocidad en la superficie, tomando los cuatro quintos de ella, y esta se mide determinando el tiempo que tarda un cuerpo flotante en recorrer una longitud dada del río, o mediante ruedas de paletas con contadores de vueltas que se denominan *molinetes hidráulicos*. También puede deducirse de la fórmula $V=50 \sqrt{Ri}$, en la que i es la pendiente por metro y R la relación de la sección al perímetro mojado. El caudal se obtiene sencillamente multiplicando la sección por

la velocidad media. En general el caudal de un río aumenta del nacimiento a su desembocadura.

Si sobre una recta horizontal se toman magnitudes pro-



Fig. 95.

porcionales a las distancias entre diversos puntos de un río y sobre ellos se levantan perpendiculares de longitud proporcional a sus alturas, se obtiene, uniendo los extremos de esas perpendiculares, una curva muy próxima a una parábola, que se denomina *perfil del río*; (fig. 96) dicha parábola es la figura límite hacia la que tiende el perfil en su progresiva modificación, y obtenida la cual el río deja de profundizar su lecho por haber llegado a su posición de equilibrio.

Aguas subterráneas.—

El agua que cae o camina por la superficie de la tierra en terrenos permeables se infiltra, descendiendo hasta encontrar una capa impermeable, cuya pendiente sigue, estancándose en sus depresiones, que, en general, no coinciden con las del terreno. Estas aguas se dividen en libres, cuando no presentan ninguna capa impermeable encima de ellas, y cautivas, cuando su nivel es detenido por otra capa impermeable superior que presenta soluciones de continuidad, a favor de las cuales el agua ha penetrado hasta la inferior. Además de estas aguas de infiltración existen otras

superficiales, llamadas freáticas, que impregnan la tierra superficial que resulta de la descomposición de las rocas (figura 95).

La intersección del nivel de las aguas subterráneas con la superficie del terreno, da lugar a los manantiales cuyo caudal dependerá de la superficie que alimenta la masa de agua subterránea, de las condiciones de permeabilidad, de la pluviosidad del país y de la estación. A veces las aguas cautivas quedan aprisionadas a presión, sin encontrar salida,

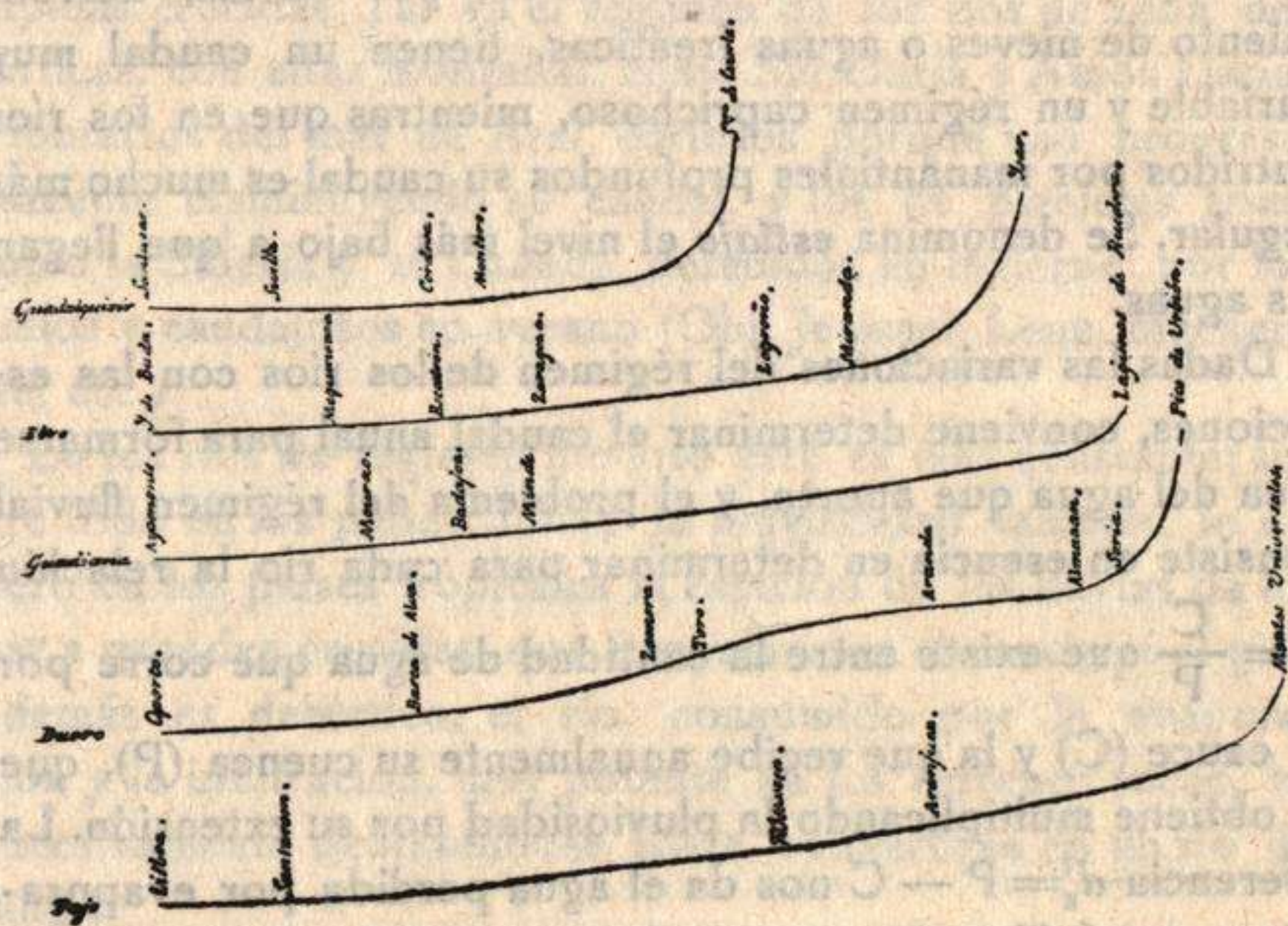


Fig. 96.

y, perforando la capa impermeable superior, salen como un surtidor hasta el nivel superior de la masa cautiva; tal es el principio de los llamados pozos artesianos, así llamados por haberse perforado primeramente en el Artois, y que tanta utilidad reportan.

Cuando los terrenos, en vez de permeables, son agrietados, el agua, buscando el más bajo nivel, se precipita en las grietas, pudiendo salir al exterior utilizando también las grietas del terreno, constituyendo los manantiales, *vauclusia-*

nos: estas salidas, que no son verdaderos manantiales, sino resurgencias de los ríos subterráneos. En su tenebroso recorrido estos ríos subterráneos ahuecan grutas, disolviendo o desgastando las rocas, se acumulan en lagos subterráneos y desaguan a veces intermitentemente cuando las grietas que al exterior las conducen forman sifones.

El régimen fluvial.—El caudal de un río no es constante, sino que varía grandemente de una estación a otra y de un punto a otro del río. Los ríos cuya agua tiene un origen superficial, como los alimentados por lluvias, derretimiento de nieves o aguas freáticas, tienen un caudal muy variable y un régimen caprichoso, mientras que en los ríos nutridos por manantiales profundos su caudal es mucho más regular. Se denomina *estiaje* el nivel más bajo a que llegan las aguas.

Dadas las variaciones del régimen de los ríos con las estaciones, conviene determinar el caudal anual para formarse idea del agua que aporta, y el problema del régimen fluvial consiste en esencia en determinar para cada río la relación

$V = \frac{C}{P}$ que existe entre la cantidad de agua que corre por su cauce (C) y la que recibe anualmente su cuenca (P), que se obtiene multiplicando la pluviosidad por su extensión. La diferencia $d_n = P - C$ nos da el agua perdida por evaporación y por infiltración, ya que los manantiales de una cuenca hidrográfica pueden verter en otra.

Los principales factores del régimen fluvial son los siguientes: 1.º, el clima que es indudablemente el más importante: de la temperatura y la humedad del aire depende la evaporación y el derretimiento de nieves; y de la pluviosidad, la cantidad de agua que la cuenca recibe; 2.º, el relieve topográfico influye muy poderosamente; las pendientes fuertes facilitan el deslizamiento de las aguas, mientras que los llanos son propicios a la filtración; 3.º, la constitución geológica debe también tenerse en cuenta, pues de la naturaleza

de los terrenos depende la permeabilidad y la facilidad de infiltración; 4.º, la vegetación, por último, influye muy poderosamente en la regularización del régimen, disminuyendo las aguas freáticas, quizá favoreciendo la pluviosidad y sirviendo de obstáculo a la rápida evacuación de las aguas.

Los principales tipos son tres: el de la nieve, de lluvias y mixto; el primero es muy irregular, pues el frío suprime la alimentación y hasta el deslizamiento del agua durante el invierno, mientras que los primeros calores se anuncian con rápidas crecidas. Tal es el régimen de los ríos de zona desérticas, con altas montañas, como Syr-Daria y Amon Daria, tributarios del mar de Aral, curiosos porque van progresivamente disminuyendo su caudal, y los de planicies frías, como la Siberia y el Canadá, detenidos en invierno por los hielos y caudalosos en verano (Obi, Jenissei, Lena, Mackenzie, etc.)

En los ríos de régimen lluvioso éste es más constante; sobre todo en los países donde la pluviosidad también lo es; pero en los países tropicales la estación de las lluvias da lugar a grandes crecidas, que irregularizan el cauce; si el país además es desértico, el río, consumido por la evaporación y la infiltración, muy potente en los terrenos secos, va sucesivamente debilitándose hasta convertirse en un río de fango.

Es raro que el régimen de un río responda a un determinado tipo; en general el régimen es mixto: tal es el caso de la mayor parte de los ríos europeos, en que se combina la alimentación por las lluvias y la fundición de las nieves en las altas montañas. El tipo más grandioso de este régimen mixto le da el Ganges, en que a las lluvias torrenciales, originadas por el cambio del monzón, se unen las aguas que resultan de la fundición de la nieve en el ingente Himalaya.

En los ríos de gran longitud y que atraviesan muy diversos países, el régimen varía en su recorrido; el ejemplo más saliente de estos ríos es el Nilo, que en su enorme curso, por

su dirección perpendicular al Ecuador, atraviesa países de climas muy diversos; sus manantiales, situados en una alta meseta con vastos lagos, forman el Nilo blanco, que refleja las variaciones del nivel de ellos; pero en su curso ulterior, al recibir las aguas de los ríos sudaneses y abisinios, crecidos en la estación de las lluvias, las precipita en el Egipto, dando lugar a sus clásicas y provechosas inundaciones, ofreciendo el curioso caso de un río desértico con régimen torrencial.

Curiosísimo por demás es el régimen del Amazonas, el gigante de los ríos, que, corriendo paralelo al Ecuador en un clima cálido de temperatura y humedad constante, tiene por sí un régimen regular y constante, en el que colaboran sus grandiosos afluentes, aunque atraviesan regiones de pluviosidad periódica, los unos del hemisferio norte, los otros del hemisferio sur. Resulta de esta curiosa disposición que cuando los afluentes de la margen derecha vienen crecidos por las lluvias torrenciales, los de la izquierda, por provenir de opuesto hemisferio, sufren el estiaje por efecto de la estación seca.

Un ejemplo análogo nos presenta el Níger, que describe un gran bucle, no recibiendo afluentes derechos por tener al norte una región desértica; mas el territorio comprendido en su bucle, sometido a la periodicidad de las lluvias, crece sus afluentes derechos, y como la crecida en su curso superior llega al inferior cuando ya termina la de sus afluentes, el régimen del río se mantiene de esta forma constante.

Las formas del terreno.—El desarrollo del conocimiento topográfico del Globo ha permitido el trazado de mapas y planos detallados con isoipsas, con los que ha podido ser posible el estudio de las formas del terreno, de cuya explicación y génesis hemos de ocuparnos más adelante. Muchos países tienen ya sus mapas a escalas superiores a 1: 50.000. En España merecen citarse los trabajos del *Instituto Geográfico y Estadístico* y del *Estado Mayor*.

Las principales formas del terreno son el *valle*, que se acusa en los planos por un entrante de las curvas de nivel, tanto más agudo cuanto más estrecho es, y con forma cuadrada cuando el fondo es plano; la *cresta*, que se señala por curvas alargadas, afiladas en los extremos y concéntricas; el *pico*, de curvas no alargadas, concéntricas y tanto más aproximadas cuanto más interiores; el *puerto*, que se reconoce en el mapa por las curvas en hipérbola, y las *llanuras*, en que aparecen muy distanciadas las isoipsas. Estas formas ofrecen un gran número de variantes, las cuales, asociadas de maneras distintas, hacen tan variada la superficie terrestre, tanto en sus aspecto panorámico como en sus condiciones de habitabilidad.

GEODINAMICA

El ciclo de los fenómenos geológicos.—El suelo que pisamos aparece a nuestros ojos como el símbolo de la quietud y, sin embargo, está continuamente modificándose por la acción de poderosos agentes geológicos, constituyendo el estudio de estas transformaciones y de las leyes que las rigen, el objeto de la Geodinámica.

Para el habitante de las grandes poblaciones, los fenómenos geológicos pasan desapercibidos y la Tierra desprovista de toda actividad; pero basta elevarse a una alta montaña, para que el espíritu sufra la impresión grandiosa e imponente de la manifestación de la actividad de nuestro planeta y llegue a nosotros el convencimiento de que en la superficie de la Tierra se han operado profundas transformaciones.

Los primeros geólogos, no pudiendo concebir que con los agentes actuales hayan podido operarse tan grandiosas transformaciones, imaginaban la existencia, en épocas anteriores, de grandes cataclismos que habían originado las altas montañas, los profundos valles, etc. La consideración de que las pequeñas causas pueden producir grandes efectos,

mediante una acción prolongada, y teniendo en cuenta la importancia que en Geología tiene el factor tiempo, hizo nacer la teoría de que las grandes transformaciones terrestres se van operando muy lentamente. Ambos criterios pecan de exagerados: es indudable que el choque continuo de las olas contra un acantilado, acaban por demolerle y el paso de un río por su cauce, origina el valle; pero no es menos cierto que, al lado de estos fenómenos, tranquilos y continuados, existen otros violentos, de los que somos testigos aún hoy día, y nadie puede negar la acción momentánea y poderosa de un fuerte huracán, de un violento nublar, de una grandiosa erupción volcánica o de un fuerte temblor de tierra.

El proceso de los fenómenos geológicos constituye un ciclo que comprende tres fases: formación de las rocas sedimentarias por aposamiento de los materiales que el agua lleva en disolución o en suspensión, formando capas horizontales (Litogénesis o sedimentación); plegamiento de estas capas y salida de materiales ígneos, dando lugar a las montañas (Orogénesis); destrucción de estas montañas (Glip-togénesis), seguida del transporte de los materiales, cuyo aposamiento reanuda un nuevo ciclo.

De una manera general, puede decirse que los agentes externos e internos obran en la transformación del Globo de una manera antitética, pues los primeros destruyen el relieve, demoliendo las montañas y rellenando las depresiones, mientras que los segundos desigualan la superficie del Globo. La actividad de nuestro planeta se nos presenta como la lucha de estos dos factores opuestos, y la historia geológica del Globo no es, en último término, más que una repetición de estos ciclos.

La formación de los sedimentos

LITOGÉNESIS

Sedimentación.—Las rocas sedimentarias o exógenas

se forman al exterior de los detritus de otras preexistentes, destruidas y transportadas por los agentes externos y depositadas en capas horizontales en el seno de las aguas. Este fenómeno, de gran importancia geológica por su generalidad, recibe el nombre de sedimentación.

Los materiales disueltos por las aguas al atravesar los terrenos, son abandonados por éstas al concentrarse por evaporación; así se forman en los lagos de clima desértico sedimentos de materiales solubles ordenados por su solubilidad (carbonato cálcico, yeso o anhidrita, sal gema, polihalita, kieserita y carnalita). A veces estos depósitos alternan con materiales insolubles, como la arcilla, correspondiendo a las épocas de turbias y de estiaje, que suceden alternadamente.

En el mar, la concentración del agua nunca puede dar lugar a la precipitación de las sales solubles, cuya cantidad permanece constante, a pesar del aporte continuo de los ríos, porque los organismos marinos están continuamente separando materiales para la fabricación de sus caparazones. Muchas algas, los foraminíferos, corales, equinodermos, moluscos, crustáceos, etc., tienen caparazones de carbonato de calcio, sal sólo soluble en el agua carbónica y que se encuentra en el mar en cantidades infinitesimales, pero parece ser que los organismos marinos fabrican el carbonato cálcico a expensas del yeso y del carbonato amónico:



Esto explica no sólo la gran robustez de los caparazones en los seres marinos, a pesar de ser el mar muy pobre en carbonato cálcico, sino también el predominio de estos seres en los mares cálidos, porque resultando el carbonato amónico de la putrefacción de la materia orgánica, más intensa en los mares tropicales, la cantidad de dicha sal es mayor en éstos.

Por el contrario, los seres que, como las diatomeas, radio-

larios y sílico-esponjas, tienen el esqueleto silíceo, abundan en las aguas frías y cenagosas, propiedad también perjudicial a los animales de esqueleto calizo. Se explica esta preferencia porque la sílice la obtienen los seres marinos por descomposición de la arcilla que aportan los ríos en suspensión, y en los mares fríos, la mayor densidad del agua favorece la permanencia de los materiales en suspensión y dificulta la precipitación.

Los caparazones de los animales marinos, después de muertos, entran a formar parte de los sedimentos, bien porque quedan en ellos, si los seres eran bentónicos, o porque caen en forma de lluvia, si se trata de los del plankton o nekton. Al primer grupo pertenecen las calizas coralígenas las lumaquelas, y al segundo el cieno de foraminíferos, terópodos, radiolarios y diatomeas.

En las costas, la destrucción de las rocas por los embates del mar da lugar a las rocas detríticas sueltas, como las arenas y los cantos rodados, que cementados, originan las areniscas y los conglomerados.

Alrededor de los continentes está la plataforma litoral, constituida por materiales terrígenos más o menos mezclados con materiales orgánicos marinos. Así, las margas son una mezcla de arcilla terrígena y caliza, procedente de la trituration de esqueletos de animales marinos.

Fósiles.—Todas las rocas estratificadas o sedimentarias conservan restos más o menos numerosos de seres organizados, a los cuales se les da el nombre de fósiles. Son especialmente fosilíferas las calizas no cristalinas y las arcillas, y menos ricas en fósiles las pizarras, areniscas y conglomerados.

El estudio de los fósiles tiene en Geología una importancia excepcional, no sólo por permitirnos conocer las faunas antiguas, cuyas especies han desaparecido en su mayor parte, sino también porque sirve para darnos cuenta de las circunstancias que reinaban en aquella época. Excepcional-

mente, han llegado hasta nosotros, enteros y sin alteración alguna, algunos seres como el Mammut y el Rinoceronte lanudo, encontrados en los hielos de Siberia, que poseían hasta la carne; y las arañas e insectos englobados en las gotas de resina de antiguos vegetales, convertidas hoy en ambar. • Lo general es que la materia se halla alterada, como sucede con las plantas que han originado el carbón por carbonización lenta de su materia, conservando la forma y estructura más o menos alterada del vegetal que la originó, o bien la materia orgánica ha desaparecido por completo y quedan solamente las partes esqueléticas. Muchas veces también el ser desaparece, pero deja su molde externo o interno, su impresión, sus huellas o cualquier otro indicio que permite reconocerle. Por último, el procedimiento de fosilización, más instructivo y delicado, aunque desgraciadamente poco frecuente, es el reemplazamiento molecular de la materia orgánica por la mineral, como ha ocurrido en los jilópalos; en que la madera, sustituida por el ópalo, conserva hasta los más pequeños detalles.

No todos los seres tienen idoneidad para la fosilización, y no podemos por esto tener la presunción de conocer todos los seres antiguos, de los cuales muchos seguramente han desaparecido sin dejarnos ningún rastro. Se han conservado de preferencia aquellos seres que poseen órganos duros, como los vertebrados gracias a su esqueleto, los moluscos a su concha, los equinodermos a su caparazón, los celentereos a su polipero, y los espongiarios y protozoos a sus espículas.

Las consideraciones que sugiere el estudio de los fósiles son variadísimas; por de pronto, el hallazgo en una capa de un fósil permite decidir su origen fluvial, lacustre o marino, y en este caso litoral o batial. La presencia de numerosos fósiles de esqueleto calizo en un país frío nos demostrará que era cálido en la época del depósito y que las aguas eran puras, e inversamente, los fósiles silíceos nos indican una temperatura más baja y un agua más cenagosa de litoral o

de estuario. Las indicaciones climatéricas que nos suministran los fósiles son numerosísimas; así, por ejemplo, en Europa han vegetado plantas como el *Laurus canarienses*, que nos indica que el clima era análogo al de la parte montañosa de las Islas Canarias, donde hoy se encuentra, mientras que en otra época encontramos el *Salix polaris*, acantonado hoy en la Laponia y el Spitzberg. Debe, sin embargo, tenerse en cuenta, que los seres pueden adaptarse a nuevas condiciones de existencia, pero esta adaptación se traduce por modificaciones más o menos reconocibles.

El estudio de los fósiles nos revela también oscilaciones del nivel de los mares y del suelo: así, el encuentro de fósiles marinos en los altos picos del Himalaya, no deja la menor duda acerca de los grandes cambios de nivel que pueden experimentar las capas de la corteza terrestre.

Por último, en la Geogenia daremos a conocer la importantísima aplicación de los fósiles en la determinación de la edad de los terrenos.

Diagénesis.—Sedimentada una capa, sufre cambios casi coetáneos con su formación, que se reúnen con el nombre de diagénesis, y además otros posteriores a ella, que constituyen el metamorfismo si son producidos por los agentes internos y metasomatosis por los externos. Esto explica las grandes diferencias que existen entre los sedimentos actuales y las antiguas rocas estratificadas que han sufrido estas acciones.

Depósitos de las aguas continentales.—Además de las formaciones salinas propias de los lagos litorales y de las cuales ya hemos hablado, las aguas continentales originan otras formaciones interesantes; así, la caliza se encuentra frecuentemente disuelta en ellas, especialmente en los ríos de aguas aciduladas o carbónicas que atraviesan terrenos calizos. El carbonato de cal así disuelto, merced al anhídrido carbónico en estado de bicarbonato cálcico, se deposita fácilmente por desprendimiento de dicho gas, cementando

los guijarros y arenas (conglomerados de cemento calizo), envolviendo e incrustando los objetos más diversos, y especialmente vegetales (calizas incrustantes), o filtrándose en las cavernas, donde al escurrir gota a gota el carbonato cálcico, se deposita en concreciones cónicas que penden del techo (estalactitas), y el agua que cae al suelo, todavía no bien desembarazada de carbonato cálcico, va formando otra concreción opuesta (estalagmita), pudiendo llegar a soldarse ambas, formando columnatas que refuerzan la estabilidad de la caverna. Así, se forman esas fantásticas cuevas, de las que tenemos en España algunas tan pintorescas como las de Artá, en Mallorca, y San Valerio, en Mondragón, Guipuzcoa.

Las materias en suspensión que arrastran los ríos, sobre todo en las crecidas, se depositan en los remansos, donde la velocidad se amortigua, formando terrenos sueltos de materiales detríticos arrancados al cauce superior del río, que se llaman formaciones aluviales o *aluviones*.

En los lagos, las bacterias reductoras transforman el sesquióxido de hierro en protóxido, que con el anhídrido carbónico forma carbonato ferroso, que a su vez se descompone, originando depósitos de limonita (hierro de los pantanos).

Por último, los carbones minerales son también formaciones continentales, aunque a veces parecen tener origen marino. La materia vegetal sufre una fermentación especial, perdiendo elementos gaseosos y aumentando el tanto por ciento de carbón. Algunos carbones, como la turba, se forman hoy día por carbonización de musgos y hierbas en praderas denominadas *turberas*.

Las facies.—La naturaleza litológica de un depósito depende evidentemente de las condiciones de su formación; así, en los mares, los depósitos litorales consisten en arenas, cantos rodados por las olas y otros materiales terrígenos, pero muy frecuentemente el fondo es rocoso porque el movimiento del mar impide la formación de ningún depósito, y

en los litorales calizos y de aguas agitadas es frecuente la formación de pisolitas y oolitas. También se agregan a las formaciones litorales restos orgánicos de seres fijos, como corales, madréporas, algas calizas, ostras y aun seres bentónicos acarreados.

Los sedimentos de mar profundo son cenagosos y de un color azulado, y en las formaciones abisales predominan las acumulaciones de esqueletos de seres planktónicos.

La naturaleza fluvial, lacustre, litoral, abisal, etc., de un depósito, constituye su facies, que es muy útil reconocer para formarse idea de las condiciones del depósito.

La edificación de las montañas.

OROGÉNESIS

Extratificación.—Sabemos que en las rocas exógenas su origen sedimentario se traduce por una disposición zonar en capas, lastras o bancos, que se conocen en el lenguaje geológico con el nombre de *estratos*. Los estratos difieren entre sí por su naturaleza litológica, cuyo cambio indica también una variación en las condiciones de sedimentación. La superficie de separación de dos estratos es generalmente plana, pero puede ser ondulada, lo que representa erosiones contemporáneas del depósito y ofrece a veces impresiones de olas, de lluvias, de corrientes marinas (*ripple-marks*), resquebrajaduras de desecación que indican una facies litoral con descenso de nivel de las aguas, huellas de animales, etc., datos todos de un gran valor genético.

Potencia de un estrato es la longitud de la perpendicular a sus dos planos de juntura, que generalmente son paralelos; pero a veces la potencia de las capas va disminuyendo, ostentando una terminación cuneiforme que indica un cambio de facies en el sentido horizontal.

Toda capa al sedimentarse, queda horizontalmente, reposando sobre la anteriormente sedimentada (excepto en la estratificación llamada entrecruzada, propia de las formaciones torrenciales y deltas). El estudio de las disposiciones que ofrecen los estratos recibe el nombre *Estratigrafía*; denominados *Tectónica* a la investigación de las causas que han originado estas disposiciones.

Capas inclinadas: dirección y buzamiento.—Es muy frecuente encontrar los estratos más o menos oblicuados y a veces hasta verticales o invertidos, y este caso se llama dirección del estrato a la de su horizontal (fig. 97), y buzamiento al ángulo que con la horizontal forma la línea de máxima pendiente, que es evidentemente perpendicular a la dirección.

La existencia de capas inclinadas hizo nacer, hace ya tiempo,

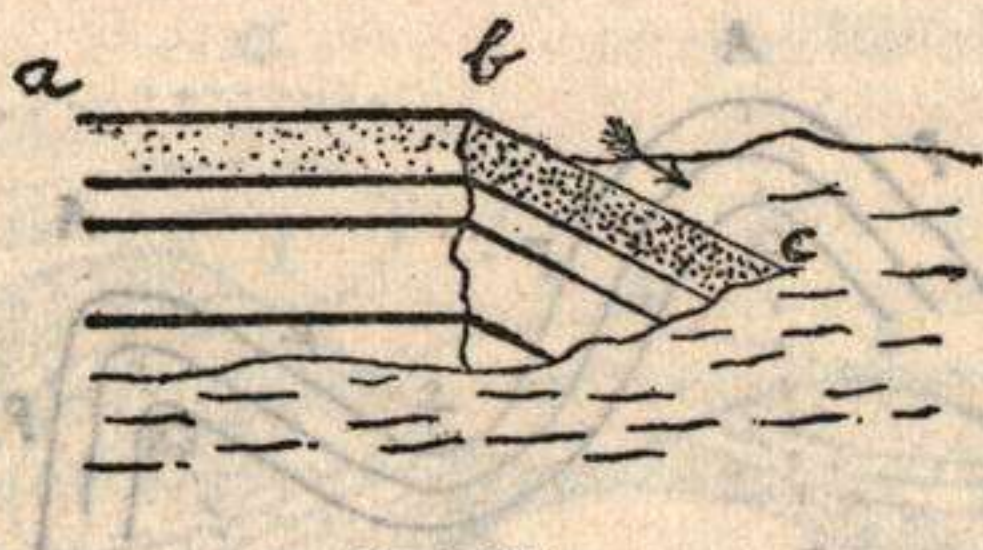


Fig. 97.

po, la teoría de que las fuerzas internas del Globo han obligado a los estratos a plegarse, perdiendo la horizontalidad que tenían al depositarse. Por extraña que parezca esta teoría al que por pri-

mera vez la oye, dada la naturaleza quebradiza y poco flexible y el gran espesor de muchos sedimentos, fácil es convenirse de su posibilidad, puesto que el espesor de la corteza terrestre es muy pequeño con relación a su superficie, por lo que resulta tan peglabe como una hoja de papel. La realidad de estos plegamientos se hace sobre todo evidente para el que ha visitado regiones dislocadas y poco erosionadas, donde se observan perfectamente toda clase de pliegues.

Pliegues anticlinales y sinclinales.—Las capas han sufrido a veces hundimientos o levantamientos en un

punto determinado, originando las cubetas y los domos, a cuyo alrededor los buzamientos son convergentes o divergentes; pero lo general es que las dislocaciones no afecten solamente a un punto, sino que sigan una línea recta o arqueada, originando las cordilleras de plegamiento.

Los pliegues pueden presentar un solo hundimiento o levantamiento en forma de escalón, en cuyo caso las capas buzán en una sola dirección; pero lo general es que el pliegue conste de dos flancos con buzamientos opuestos, y que se repitan formando alternativamente crestas o bóvedas llamadas anticlinales, y valles o sinclinales (fig. 98). El punto de unión de los dos flancos de un anticlinal o de un sinclinal se llama charnela, y plano axial al que pasa por la charnela de todas las capas.

Cuando el plano axial es vertical, el pliegue se llama simétrico, pero puede ser más o menos asimétrico u oblicuo, y hasta acostado cuando los flancos son horizontales, en cuyo caso uno de los flancos está invertido, quedando encima las capas más antiguas y debajo las últimas sedimentadas.

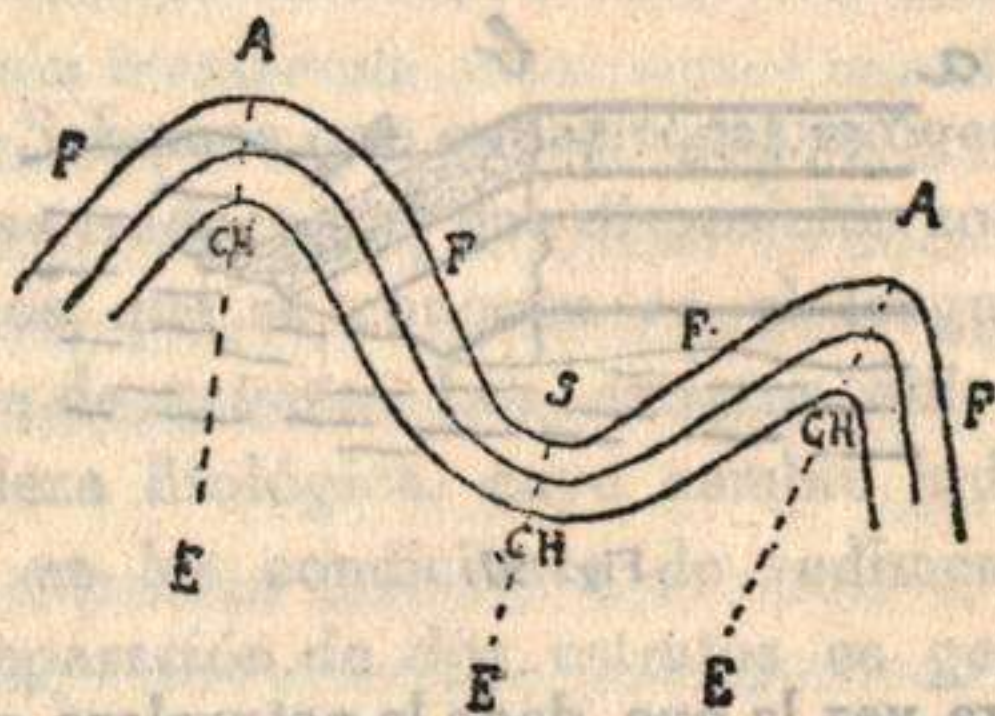


Fig. 98.

A veces los flancos, en vez de divergir, se aproximan (pliegues en abanico), y muy frecuentemente la flexión de las capas produce estiramientos, adelgazamientos y hasta estrangulaciones en ellas.

Los pliegues se presentan generalmente asociados, pudiendo estar formadas estas asociaciones de pliegues paralelos anticlinales o sinclinales, que forman en conjunto un gran anticlinal o un gran sinclinal (geosinclinales).

Pliegues desnudados.—Si los agentes externos no

modificaran el relieve, la superficie topográfica coincidiría con la tectónica, de forma que todo domo estaría representado por un montículo; toda cubeta, por un bodón, todo anticlinal, por una cordillera, y todo sinclinal, por un valle. No ocurre esto, sin embargo, porque la erosión de los agentes externos, denudando el terreno modifica más o menos profundamente la configuración superficial del terreno, y la diferente resistencia de las capas provoca modificaciones tan profundas como la inversión del terreno, en que los sinclinales forman crestas y los anticlinales valles (fig. 99).

Al estudiar el terreno, el geólogo tiene necesidad de reconstituir la superficie tectónica, que fué la primitiva confi-

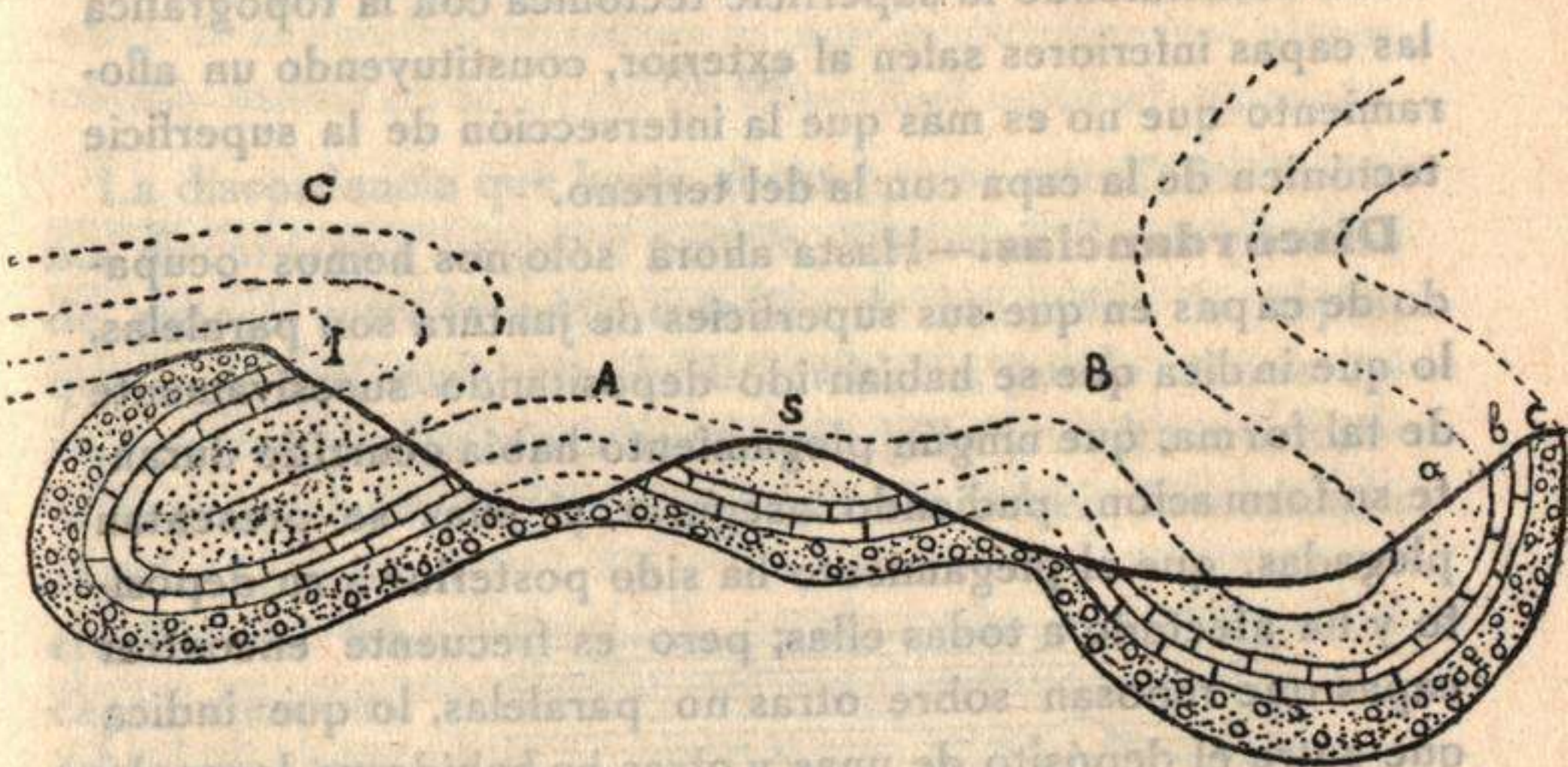


Fig. 99.

guración topográfica, y razonar las causas que la han modificado hasta llegar a la situación actual.

El estudio de la disposición de las capas es absolutamente necesario para la perforación de túneles, pozos, trincheras y, en general, para todos los trabajos de ingeniería de campo, así como también en las explotaciones mineras; así, por ejemplo, un terreno formado por pliegues paralelos erosionados puede parecer muy rico en capas de un mineral

útil, cuando en realidad no posee más que una, y de la cual la mayor parte ha desaparecido por la erosión.

Afloramiento de las capas.—Si la erosión no hubiera intervenido modificando el relieve, las capas sólo serían visibles en los cortes artificiales del terreno, pues todas estarían cubiertas por la última sedimentada; pero la erosión puede hacer desaparecer las capas superiores, ya totalmente, ya en su mayoría, pero dejando en algunos puntos restos de ellas, que se denominan escarpamientos o testigos, porque delatan su antigua existencia ya en pequeña cantidad, formando lo que se denominan ventanas porque a través de ellas se ven las capas inferiores.

No coincidiendo la superficie tectónica con la topográfica las capas inferiores salen al exterior, constituyendo un afloramiento que no es más que la intersección de la superficie tectónica de la capa con la del terreno.

Discordancias.—Hasta ahora sólo nos hemos ocupado de capas en que sus superficies de juntura son paralelas, lo que indica que se habían ido depositando sucesivamente de tal forma, que ningún plegamiento había ocurrido durante su formación, pudiendo asegurar, si ellas se presentan plegadas, que el plegamiento ha sido posterior a su depósito y ha afectado a todas ellas; pero es frecuente encontrar capas que reposan sobre otras no paralelas, lo que indica que entre el depósito de unas y otras ha habido un lapso de tiempo sin sedimentación, durante el cual se verificó el plegamiento de las inferiores. Una discordancia plegamiento como la de la (figura 100) nos indica la existencia de los siguientes tiempos: 1.º, sedimentación de las capas inferiores horizontalmente; 2.º plegamiento de ellas, produciendo su emersión fuera de las aguas; 3.º, erosión por los agentes externos del pliegue; 4.º, inundación y depósito de las capas superiores, y 5.º, denudación de las capas superiores.

En las discordancias es fácil conocer si en el depósito de las capas superiores las aguas iban invadiendo el terreno

(transgresión), o, por el contrario, abandonándole; el primer caso indica un hundimiento gradual del terreno, y las capas, cuanto más modernas y por lo tanto más superiores son, ocupan mayor superficie, mientras que en la regresión, debida al levantamiento del terreno, ocurre todo lo contrario.

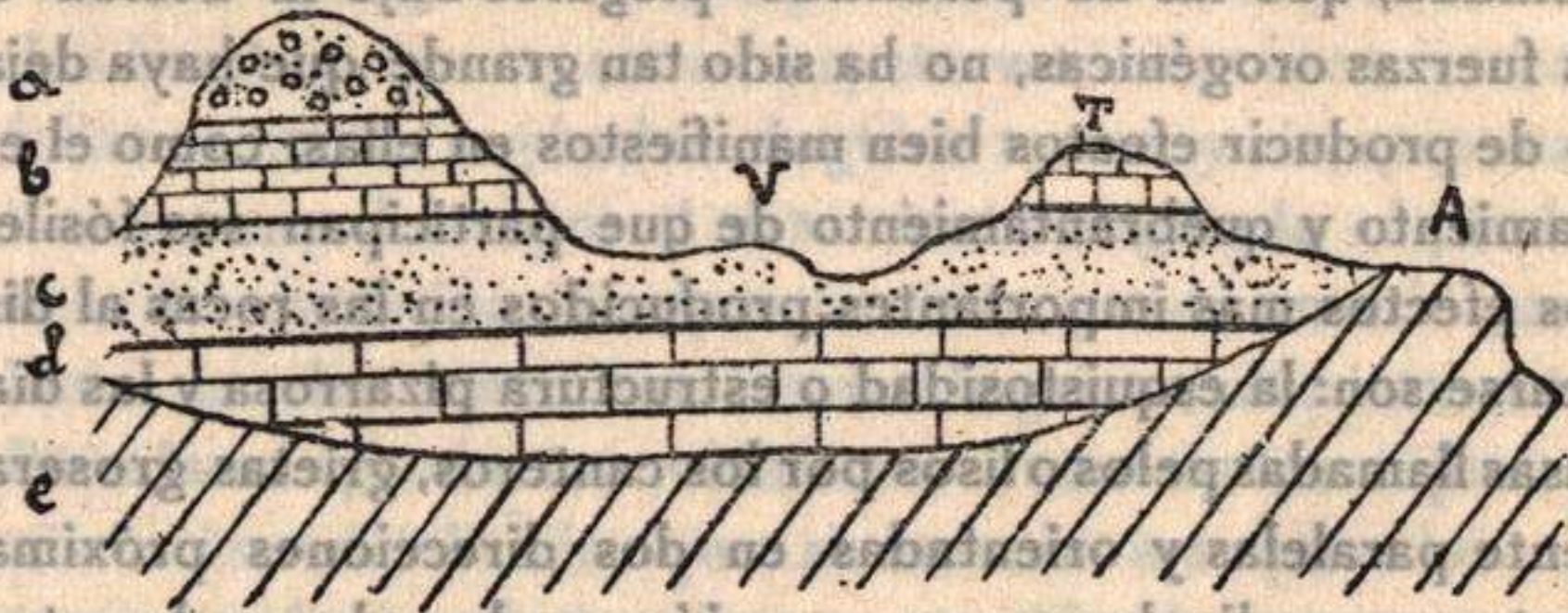


Fig. 100.

La discordancia que hasta ahora hemos estudiado se llama discordancia angular; pero la existencia de un período de reposo entre la sedimentación de dos series de capas, que es lo que caracteriza la discordancia, puede reconocerse, aun cuando las capas hayan emergido y vuelto a hundirse horizontalmente, y por lo tanto, sin haber discordancia angular, por la

erosión de las capas inferiores, así como también por las roturas o fallas y por los filones de rocas eruptivas que atraviesan las inferiores y respetan las superiores (figura 101).

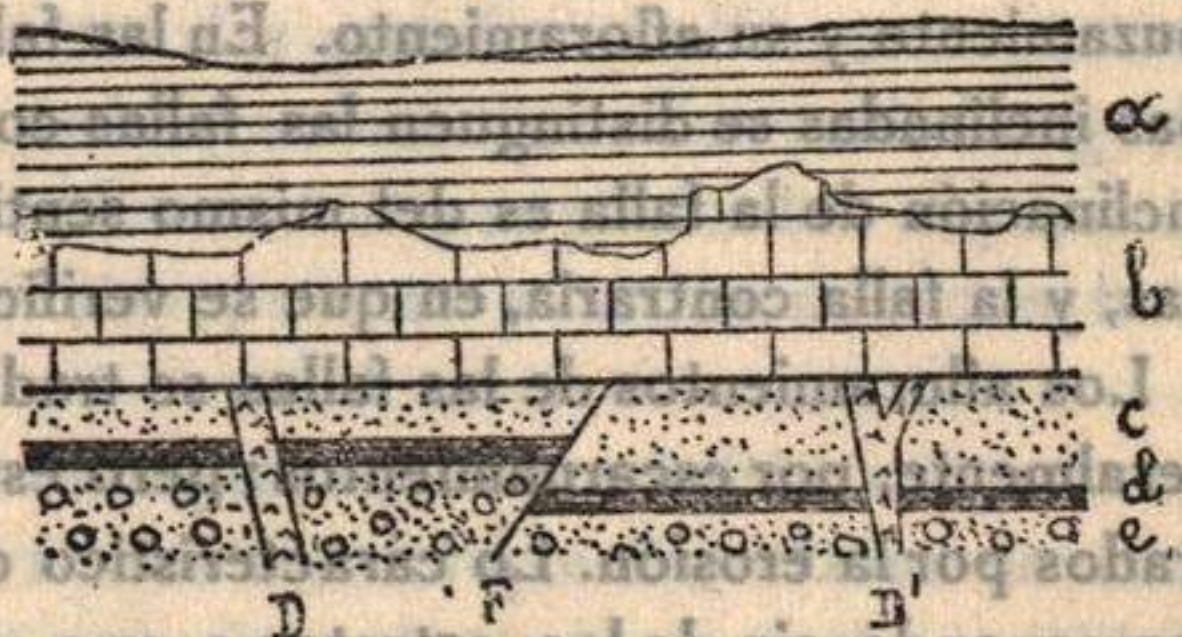


Fig. 101.

Las discordancias nos sirven para reconocer la edad de los plegamientos, que tienen que ser posteriores a las capas que afectan y anteriores a las que reposan en discordancia en

virtud de él. Por la misma razón, las discordancias pueden utilizarse para localizar la edad de las erupciones y de las fallas.

Deformaciones que sufren las rocas en los plegamientos.—Aunque dotadas las capas de cierta flexibilidad, que las ha permitido plegarse bajo la acción de las fuerzas orogénicas, no ha sido tan grande que haya dejado de producir efectos bien manifiestos en ellas, como el estiramiento y quebrantamiento de que participan sus fósiles. Los efectos más importantes producidos en las rocas al dislocarse son: la esquistosidad o estructura pizarrosa y las diaclasas llamadas pelos o lisos por los canteros, grietas groseramente paralelas y orientadas en dos direcciones próximamente perpendiculares, que, en unión con los planos de estratificación, facilitan la división de las rocas en trozos paralelepípedicos.

Fallas.—No son los anteriores fenómenos los únicos efectos producidos en los estratos por los plegamientos, sino que a veces roturas importantes se han originado, seguidas de desnivelamiento, que reciben el nombre de fallas (fig. 101).

Las fallas pueden ser verticales o inclinadas, y en este caso se considera, lo mismo que en las capas, su dirección, su buzamiento y su afloramiento. En las fallas oblicuas en capas inclinadas se distinguen las fallas conformes, en que la inclinación de la falla es del mismo sentido que la de las capas, y la falla contraria, en que se verifica lo recíproco.

Los afloramientos de las fallas se traducen al exterior, generalmente, por escarpamientos; pero éstos pueden ser borrados por la erosión. Lo característico de las fallas es la no correspondencia de los estratos a uno y otro lado de ellas, lo que produce muy desagradables sorpresas en las explotaciones mineras en el curso de la explotación de los filones y capas que se pierden bruscamente al llegar una falla. El estudio estratigráfico del terreno permite volver a encontrar la vena cuando se sabe el buzamiento de la falla y de las

capas y la naturaleza de ellas, que permite reconocer el sentido y la intensidad de la desnivelación.

Es raro que las fallas se presenten aisladas; lo general es que se asocien, constituyendo verdaderas escaleras que conducen a depresiones denominadas fosas tectónicas, como el valle del Rhin y del Guadalquivir, o a elevaciones denominada horst, como nuestra carpeto-vetónica; otras veces las fallas se cortan según los ángulos rectos, y siempre sus labios están pulidos por el rozamiento originado al producirse la desnivelación, aunque también puede ocurrir que los labios queden separados, formando grietas ulteriormente rellenas de productos volcánicos, formando los diques, o de minerales cristalizados que abandonan a su paso las aguas termales, formando los filones estratificados.

Localización de los plegamientos.—El gran espesor de las capas en las regiones plegadas se ha explicado satisfactoriamente, suponiendo que el fondo de los sinclinales se hunde progresivamente, contribuyendo a ello el peso cada vez más enorme de los sedimentos que se van acumulando y evitando este hundimiento el relleno de la depresión. La historia del Globo demuestra que es en estas grandes depresiones donde se han localizado los fenómenos de plegamiento, originándose las grandes cordilleras o geoanticlinales, los cuales se han anunciado en los períodos geológicos anteriores a su formación por profundas depresiones con sedimentación muy potente y activa de facies batial (geosinclinales).

Formaciones eruptivas.—Se admitía antiguamente la existencia de un núcleo central que era el foco de masas eruptivas en fusión, y más recientemente se ha emitido la hipótesis de que estas rocas se originan de diversos residuos denominados magmas especiales, diseminados en la costra terrestre; pero sea cualquiera su origen, se presentan de dos maneras diferentes, según se hayan solidificado en el exterior (rocas efusivas) o en el interior de la corteza terres-

tre (rocas intrusivas). Entre las primeras, unas, llamadas abisales, se han consolidado a grandes profundidades y su estructura es groseramente cristalina, sin presentar jamás restos vítreos; otras, denominadas hipabisales, son de origen menos profundo y tienen el grano más fino, semejándose a las rocas efusivas o volcánicas.

Las rocas abisales se presentan bajo la forma de *batolitos* o grandes masas que se hunden debajo de los sedimentos, y los constituyen granitos y otras rocas ácidas.

Entre las maneras de presentarse las rocas hipabisales, tenemos el *lacolito* o masas intrusivas intercaladas entre los estratos, formando lentejones, que se acusan al exterior por domos llamadas de intumescencia, para distinguirlos de los domos tectónicos; los *filones capas* o masas eruptivas intercaladas entre los sedimentos, pudiendo confundirse por su situación con una capa sedimentaria; los *Neks* o chimeneas de ascensión, que son masas cilíndricas que atraviesan los sedimentos y cuyo afloramiento se reconoce por un montículo o una depresión, según que la roca que les forma sea más dura o más blanda que la que le rodea, y los *filones* o planos eruptivos, que reciben el nombre de *venas* cuando son pequeños, y de *diques* cuando, siendo más duros que los sedimentos en que afloran, resisten más a la erosión y forman tapias en la superficie.

Las rocas efusivas salen al exterior, ya fundidas o pastosas, formando ríos, y reciben el nombre de *lavas*, ya en pequeños fragmentos o *cenizas volcánicas* que se depositan en la superficie.

Si de las rocas intrusivas no conocemos su formación, las volcánicas las vemos hoy día consolidarse en la superficie del Globo, siendo acompañada su salida de interesantes fenómenos que constituyen las erupciones volcánicas.

Erupciones volcánicas.—Una de las manifestaciones más grandiosas en la actividad interior del Globo son las erupciones volcánicas, que se manifiestan localizadas en

puntos determinados de la superficie terrestre, denominados volcanes, que ostentan la forma de montes, en cuyo pico existe un orificio llamado cráter, por donde salen al exterior, y a una elevada temperatura, materias del interior de la Tierra, de una manera permanente o temporal. De todas maneras, y aun los volcanes que constantemente están dando pruebas de actividad, atraviesan crisis en que se recrudece la actividad eruptiva; otros no dan señal ninguna de actividad, pero a pesar de esto pueden sobrevenir los paroxismos de la actividad volcánica. Así, el Vesubio era un volcán en la antigüedad aparentemente extinguido, pero su actividad se despertó el año 79 de la Era Cristiana con una grandiosa erupción, cuyas cenizas enterraron las ciudades romanas de Herculano y Pompeya; a partir de esta fecha, ha sufrido un paroxismo cada diez años próximamente, De 1306 a 1631, el volcán atravesó un nuevo período de calma, y desde 1712 la actividad se ha acrecentado, durando los paroxismos hasta veinticinco años y los intervalos de reposo de dos a siete.

Los productos expulsados por los volcanes consisten en emanaciones de vapor de agua, gases diversos como el anhídrido carbónico, óxido de carbono, nitrógeno, y algunos inflamables como el metano y el hidrógeno, con los que son lanzadas materias sólidas, ya de gran tamaño (bombas volcánicas), ya cenizas o filamentos capilares, y por último, por el cráter principal u otros secundarios que se abren en los flancos rebasa una roca fundida, que, sea cualquiera su naturaleza petrográfica, recibe el nombre de lava.

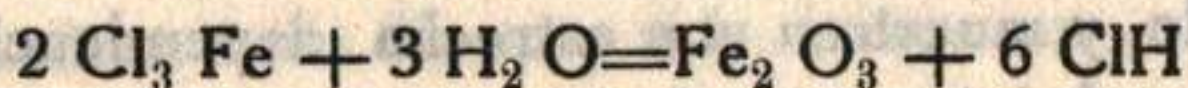
Diversos tipos de volcanes.—La naturaleza petrográfica de la lava modifica el carácter de las erupciones. En unos volcanes, como ocurre en el Kilauea y el Mauna-Loa, en las islas Sandwich, y en los de Islandia, como los que se forma el tipo volcánico *hawayense*, la lava balsática, muy básica y por tanto muy fusible y poco viscosa, fluye con una gran tranquilidad y corre velozmente por las pendientes,

formando torrentes de lava que recorren grandes distancias y que proyectan gotitas que se estiran en forma de filamentos. En otros volcanes que forman el tipo *estromboliense*, por pertenecer a ellos el Estromboli, la lava, menos flúida, aprisona los gases, que explotan violentamente, proyectando masas fundidas, animadas de un movimiento de rotación que les da un aspecto fusiforme, constituyendo las citadas bombas volcánicas. En el tipo *vulcaniense* realizado en 1888 y 1889 por el Vulcano, la lava, muy viscosa, tiende constantemente a taponar el cráter, lo que da lugar a formidables explosiones que pulverizan los materiales, originando abundantes cenizas volcánicas (lapilli de los italianos), que hacen muy visible la columna de vapores y flotan durante largo tiempo en la atmósfera, transportándolas el viento a grandes distancias. Por último, en el tipo *pelecse*, estudiado por Lacroix, en 1902, en monte Pelée de la Martinica, la lava andesítica, completamente sólida, era expedida poco a poco y a empellones por el volcán, y los vapores, escapándose trabajosamente por las grietas, resbalaban velozmente, formando volutas, por los flancos del volcán. Tales eran las llamadas nubes ardientes que destruyeron el 8 de Mayo de 1902 la ciudad de San Pedro, y cuya temperatura, superior a 125° e inferior a 230, fué medida por Lacroix, interceptando hilos metálicos de fusibilidad diferente. Generalmente, los volcanes no se manifiestan constantemente perteneciendo a un mismo tipo; así, el Vesubio ha presentado erupciones vulcanienses y estrombolienses.

El mar es también teatro de erupciones, cuyos materiales pueden edificar islas de vida muy efímera, como la de la isla Julia, que apareció en Julio de 1831 entre Sicilia y Pantellería, y desapareció al final del mismo año, resolviendo un conflicto internacional que acerca de ella había surgido.

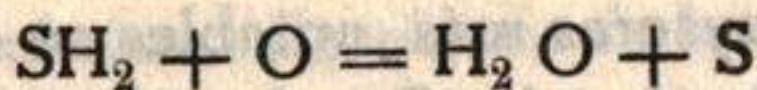
Fumarolas.—Las erupciones no son las únicas manifestaciones de la actividad volcánica, pues en los terrenos

volcánicos se observa frecuentemente la emisión de vapores, gases y aguas termales. Las emanaciones gaseosas reciben el nombre de fumarolas, de las cuales las más calientes son pobres en agua y predominan los cloruros en estado de vapores, lo que origina reacciones químicas, con producción de minerales muy interesantes. Las fumarolas, cuya temperatura oscila entre 100 y 500° se llaman ácidas, por contener anhídrido carbónico además de vapor de agua y anhídrido sulfuroso, siendo el oligisto especular uno de los minerales más notables a que dan lugar, originándose por la reacción a alta temperatura del tricloruro de hierro con el agua, según la reacción



y el ácido clorhídrico que queda libre, atacando a las rocas, da lugar a la formación de minerales clorurados.

Las fumarolas cuya temperatura está comprimida entre 40 y 100° son muy pobres en cloruros, por lo que se las ha denominado alcalinas y *sulfataras*, por ser ricas en vapor de agua y ácido sulfhídrico que, descomponiéndose en el aire, origina depósitos de azufre volcánico:



Por último, las fumarolas frías contienen principalmente anhídrido carbónico y además nitrógeno, hidrógeno, metano, acetileno. Se las ha denominado *mofetas*, y son las que asfixian en la Gruta del Perro, en Nápoles, y el Valle de la Muerte, en Java.

Las mofetas, ricas en hidrocarburos inflamables que se desprenden de pequeños conos que se levantan en terrenos arcillosos petrolíferos, reciben el nombre de salsas y volcancitos de fango, y se encuentran en Baku (Turquía), y en España han sido reconocidos por el Sr. Calderón en la pro-

vincia de Sevilla. Estos petróleos de origen eruptivo difieren de los de origen orgánico, en que éstos están formados de hidrocarburos acíclicos de la serie $C_n H_{2n+2}$, mientras que los eruptivos los forman cicloetanos de la serie $C_n H_{2n}$.

Es de notar que las fumarolas son tanto más frías cuanto más alejadas están del cráter, y son un signo de decrecimiento de la actividad volcánica; así, las fumarolas secas son idénticas a los gases que salen en las erupciones, mientras que las ácidas y las sulfataras manifiestan un decrecimiento de la actividad eruptiva, y por último, las mofetas se producen en regiones de muy antiguos volcanes.

Manantiales hipogénicos.—En las regiones volcánicas es frecuente la salida de aguas termales, cuyo origen es profundo, y muestran una estrecha dependencia con los fenómenos volcánicos, con los que tienen de común el fenómeno llamado pulsación o aumento intermitente de su caudal, que representan los paroxismos volcánicos. Tales son los *soffioni* o *soufflards*, chorros de vapor de agua a 100 ó 175°, que se condensa en los *lagoni*, donde por evaporación dejan el ácido bórico y el bórax que llevan disueltos. Los *geysers* son surtidores intermitentes de agua caliente (temperatura próxima a 100°) que depositan alrededor del orificio de salida, formando un brocal, ópalo (geyserita) o carbonato cálcico. Los *geysers* más notables se encuentran en Islandia, Nueva Zelanda y los Estados Unidos, habiendo explicado Tyndall satisfactoriamente la salida intermitente del agua por el paso brusco a vapor del agua caliente que se eleva en la chimenea al llegar a un punto calentado por las acciones volcánicas, lo que produce la salida tumultuosa de la columna líquida e interrumpiéndose el fenómeno por el enfriamiento de dicho punto por el agua que vuelve a caer, volviéndose a reproducir nuevamente al cabo de cierto tiempo.

Por último, en los manantiales termales, siempre de temperatura inferior a los *geysers*, es muy difícil dilucidar su

origen superficial o hipogénico, siendo posible que existan gradaciones insensibles.

Teorías del volcanismo.—El problema de la causa de los fenómenos volcánicos preocupa hace tiempo a los geólogos, sin que hasta ahora haya podido ser definitivamente resuelto. La posición insular o costera de la mayor parte de los volcanes ha hecho suponer durante mucho tiempo que el mar era elemento partícipe de la actividad volcánica; pero en primer lugar, esta proximidad no es absoluta, pues se conocen aparatos eruptivos apartados del mar millares de kilómetros y además esta particularidad de la distribución de los volcanes jalonando las depresiones es resultado de su localización en las regiones muy dislocadas, admitiéndose cada día con más fuerza una relación entre las fracturas verticales de la corteza terrestre y la salida de los materiales ígneos, especialmente en aquellas zonas dislocadas que bordean áreas de hundimiento, cuyo descenso ha provocado la salida de las materias volcánicas aprovechando las grietas preexistentes o las líneas de mínima resistencia. Zonas de hundimiento bordeadas de regiones plegadas con manifestaciones volcánicas que se localizan en el borde interno, son, el mar Tirreno, envuelto por los volcanes del Latium, de Nápoles, de Sicilia y Lipari; Hungría, bordeada por el arco vulcanizado de los Carpatos, formados por plegamientos recientes; el mar de las Antillas, etc. No es raro que las manifestaciones volcánicas se localicen en las zonas de convergencia de las cordilleras de plegamiento o en grandes zonas fracturadas.

Se supone hoy día que el descenso gradual del fondo de los geosinclinales produce la salida de los materiales fundidos en él, así como las fracturas que facilitan el paso de dichos materiales.

La emisión de gases y vapores (vapor de agua, cloruros, etcétera), se explicaba satisfactoriamente cuando se suponía que la infiltración de aguas marinas era la causa del volca-

nismo; pero hoy se admite que el vapor del agua resulta de la fusión de las mismas rocas que originan los materiales volcánicos y que la sal procede del interior de la tierra, de modo que el mar no es el que la facilita, sino el que la consume.

Geotermia.—La influencia calorífica de las radiaciones solares no se hace sentir más que hasta una pequeña profundidad, que se evalúa en 10 metros y que constituye la capa de temperatura constante; pero si se profundiza, la temperatura crece, denominándose *grado geotérmico* al número de metros que es preciso descender para que la temperatura aumente un grado. Las observaciones hechas en las grandes minas, pozos y túneles, han dado para el valor del grado geotérmico 30 m. Según esto, si la temperatura crece progresivamente, a 3.000 m. será de 100°, y a 50 kilómetros de 1.700°. Se puede, pues, admitir que el espesor de la corteza terrestre es menor de 20 leguas, porque la temperatura que corresponde a esa profundidad no consiente a ninguna substancia permanecer en estado sólido. Se admite hoy que debajo de la litoesfera existe una zona continua, constituida por un magma fundido a alta temperatura, denominada *piroesfera*, cuya composición varía superficialmente por variar la naturaleza de las rocas que se va asimilando, lo que explica las pequeñas variaciones de composición química de las rocas eruptivas.

Se suponía antiguamente que esta piroesfera ocupaba todo el interior de la Tierra, pero las determinaciones de la densidad del Globo, que obligan a asignar al núcleo terrestre una densidad de 7'7, es decir, próximamente la del hierro, y sobre todo las juiciosas observaciones del gran físico escocés lord Kelvin (sir Willian Thomson), que hizo notar que nada nos autoriza a admitir un aumento regular de la temperatura, a partir de la zona que origina los fenómenos volcánicos, y demostró que los valores de la precesión de los equinoccios y de la nutación difieren mucho de lo que

arroja el cálculo en la hipótesis del núcleo interno fundido, y que una esfera flúida, cubierta de una capa tan delgada, debía estar afectada de mareas, deduciendo de todo ello que la mayor parte de la masa interna del Globo está en estado sólido y formada casi totalmente de hierro; se ha dado el nombre de *barisfera*, a esta zona metálica, la más interna del Globo.

El caracter de esta obra nos impide detallar aquí el gran número de pruebas que pueden aducirse en favor de la teoría de Thomson, de la estructura de nuestro Globo; pero sí haremos observar que explica satisfactoriamente el magnetismo terrestre, y que cálculos seísmicos arrojan, por valor de la barisfera, una rigidez igual a la del acero.

Terremotos.—Más espantosos que las erupciones volcánicas, por ser menos localizados, son los movimientos vibratorios que se observan con alguna frecuencia en la superficie de la Tierra, conocidos con el nombre de terremotos o temblores de tierra y que constituyen el fenómeno geológico más violento y de más mortíferos efectos que el hombre conoce. Así, el año 526 de la Era Cristiana murieron en el litoral Mediterráneo de 100.000 a 200.000 personas, víctimas de un terremoto; el de Lisboa, 1755, causó la muerte de 30.000 personas; en 1693 murieron en un temblor de tierra 60.000 sicilianos, y recientemente en 1909, un terremoto destruyó Mesina y otras ciudades de Sicilia y Calabria.

Las vibraciones producidas por un temblor de tierra pueden ser sacudidas verticales que lanzan en alto los edificios, horizontales que mueven los objetos como los granos en un harnero, o rotatorias, a manera de torbellinos. La sacudida parece iniciarse en un punto del interior de la corteza terrestre (centro seísmico) y propagarse según ondas circulares. El punto en que la onda seísmica es tangente a la superficie terrestre es el primero que siente la vibración, y se llama *epicentro*, porque está colocado en el mismo radio que el centro. A partir de él, la onda secante a la superficie terres-

tre la va cortando según curvas teóricamente circulares, denominadas isoteístas, cuyos puntos sufren la vibración a la misma hora.

Se llama direccción de un terremoto en un lugar la de la línea que le une con el epicentro, y claro es que esta dirección varía de unos puntos a otros. Velocidad, el tiempo que tarda en recorrer la distancia que separa dos puntos colocados en la misma dirección seísmica. La intensidad de los seísmos se aprecia por sus efectos sobre los edificios, así como también su dirección, que es constante para todos los terremotos de una localidad, y constituye un precioso dato que han de tener en cuenta los arquitectos al reconstruir una villa destruída por un terremoto. La velocidad se aprecia por la hora en que las distintas poblaciones afectadas van sufriendo el terremoto y que indican los relojes que quedan parados, sirviendo para trazar las cartas de isoteístas. Hoy se construyen delicadísimos aparatos seísmicos que aprecian las más pequeñas sacudidas (microseísmos) que pasan desapercibidas.

Los temblores de tierra es raro que se presenten aisla dos y generalmente constituyen una serie de sacudidas intermitentes de intensidad creciente o decreciente que pueden durar meses enteros. El fenómeno va acompañado de ruidos sordos o *retumbos*, y en las costas, de la formación de olas seísmicas o *tsunamis* que producen la retirada del mar, seguida de la invasión de la costa por él. Es frecuente el recrudescimiento de los fenómenos volcánicos con los terremotos.

Ciertos terremotos muy locales y de poca importancia deben su origen a hundimientos de cavidades subterráneas; pero los verdaderos temblores de tierra o guardan relación con los fenómenos volcánicos o con los fenómenos tectónicos. Aunque muchos autores han tratado de establecer relaciones entre los terremotos y ciertos fenómenos astronómicos o meteorológicos, los geólogos modernos los consideran

dependientes de los fenómenos orogénicos, puesto que su repartición geográfica indica que, lo mismo que los volcanes, están localizados en las regiones que se plegaron en la última etapa orogénica del Globo.

Desplazamiento de las costas.---La disposición transgresiva o regresiva de los estratos nos ha demostrado que en otras épocas hubo emigraciones de las costas, resultado de la invasión o retirada del mar. Estos movimientos lentos del suelo se verifican hoy día, y a pesar de su lentitud pueden variar grandemente la configuración de las costas bajas.

No siendo posible distinguir en una regresión si es producida por el hundimiento de la costa o por el levantamiento del nivel o del fondo del mar, Suess ha propuesto abandonar los términos antiguos de los levantamientos o hundimientos por los de movimientos geocráticos o hidrocráticos, según aumenten los dominios de la tierra o del mar. La mayor parte de los geólogos están acordes en suponer que la causa de estos fenómenos reside en movimientos de los continentes y no en oscilaciones de nivel de los mares.

Entre los muchos ejemplos que se conocen de estos fenómenos, citaremos entre los hidrocráticos la destrucción del istmo que unía Holanda y Frisia en el siglo IX, convirtiendo el antiguo lago Flevo en el actual golfo de Zuigdersee, y en la Península Ibérica todo el litoral Atlántico presenta pruebas del mismo fenómeno; por el contrario, Noruega y el litoral Cantábrico están sometidos a movimientos geocráticos.

El sentido de estos movimientos puede invertirse; así, el templo de Serapis en Pouzzoles, construído en tierra, ha estado sumergido, volviendo después a reaparecer.

El metamorfismo.---Las rocas estratificadas difieren de los sedimentos actuales notablemente, a pesar de haberse formado de la misma manera, por haber sufrido una serie de acciones con posterioridad a su formación, que se reúnen con el nombre de metamorfismo.

Las rocas eruptivas metamorfizan los sedimentos que atraviesan, pero esta acción, muy limitada, no sirve para explicar el origen de las rocas metamórficas que forman tan grandes masas y de las modificaciones que en mayor o menor grado han sufrido todas las rocas sedimentarias. Haug, teniendo en cuenta que, según las experiencias químicas, la causa del metamorfismo es la acción combinada del agua, el calor y la presión, y que los sedimentos están tanto más metamorfizados cuanto más antiguos, y por lo tanto más inferiores son, ocupando las rocas cristalofídicas la base sobre que descansan los verdaderos sedimentos, supone que se ha verificado en el fondo de los geosinclinales, donde los tres factores (calor terrestre, presión de los sedimentos y agua infiltrada) han operado el metamorfismo, y que el granito, que ha venido considerándose como una roca eruptiva o como la primitiva corteza del Globo, no es más que el último término del metamorfismo.

Teorías orogénicas.—Entre las muchas teorías que se han dado para explicar la causa de las cadenas montañosas de plegamiento, dos se disputan hoy día principalmente los sufragios de los geólogos; la de la *contracción*, y la de la *isostasia*. La primera considera las fuerzas tangenciales que han arrugado la costra del Globo resultado de la disminución de volumen a que ha dado lugar el enfriamiento paulatino de la Tierra y, consecuentemente, la disminución de superficie. La isostasia supone que, siendo heterogénea la tierra, su figura de equilibrio no puede ser exactamente un elipsoide de revolución, sino que los sitios donde se han acumulado materias de menor densidad han de estar levantados en relación a los de densidad mayor, y como los continentes están continuamente perdiendo materia por erosión, la cual se va acumulando por sedimentación en las regiones costeras, el equilibrio se restablece por un aflujo de las líneas sobrecargadas hacia las masas continentales descargadas. Es posible que ambas causas hayan intervenido, dando la con-

tracción, la fuerza y la isostasia el sentido de los plegamientos, siempre costeros y volcados hacia las masas continentales.

Conviene tener en cuenta que la corteza terrestre ha recibido en muchas regiones impulsos verticales positivos o negativos que han dado lugar a los movimientos llamados *epirogénicos*, que se traducen por levantamientos o hundimientos del suelo, pero que no tienen nada de común con los movimientos orogénicos, hoy día explicados por todos los geólogos, por fuerzas tangenciales, y no como se ha venido suponiendo, como resultado de impulsos verticales relacionados con la actividad volcánica o por la inyección de los macizos cristalinos, puesto que éstos han sido plegados coetáneamente con su cubierta sedimentaria.

La demolición del relieve.

GLIPTOGÉNESIS

Penillanura.—Si los agentes internos son los que edifican el relieve, desigualando la superficie de la Tierra, los externos le destruyen, demoliendo las alturas y rellenando las depresiones, transformando el terreno en una superficie casi plana que los agentes exteriores son incapaces ya de modificar. Esta superficie, cuya configuración precisaremos más adelante, se ha denominado penillanura y constituye el término a que conducen todas las transformaciones que los agentes externos hacen sufrir al relieve y que ocuparán nuestra atención en el presente capítulo.

La acción de los agentes externos comprenden tres fases: *erosión* o alteración de las rocas, *transporte* de los materiales detríticos y *sedimentación* o depósito de ellos.

Acción de los agentes atmosféricos.—Todas las rocas son alteradas superficialmente por la acción química de la atmósfera, que produce la descomposición de los mi-

nerales por oxidación, hidratación o carbonatación (transformación de las rocas feldespáticas en arcillas de las olivínicas en serpentina, etc.), y esta alteración es tanto más enérgica cuanto más cálido es el clima.

La inhibición de las calizas magnesianas por las aguas meteóricas las transforma en dolomía, por ser el carbonato cálcico más soluble en el agua carbónica que el magnésico, de lo que resulta un enriquecimiento progresivo de la roca en magnesio.

Las variaciones térmicas a que están sometidas las rocas, especialmente en los países en que la oscilación térmica diurna es muy grande, provoca la descamación por dilatación rápida de la costra externa y también la rotura, con formación de diaclasas. También es factor de gran cuantía en la fractura de las rocas el hielo en los países fríos. pues al aumentarse por congelación el volumen del agua embebida por las rocas, las hace saltar en pedazos, así como también el rayo en las rocas duras, mientras que en las sueltas, como la arena, produce unos tubos ramificados llamados *fulgurites*.

El viento también colabora en la destrucción de las rocas, por el roce con ellas de las arenas que lleva en suspensión.

Por último, las plantas, como los musgos, líquenes y las raíces de las fanerógamas, insinuándose por los intersticios de las rocas, provocan su rotura, y ciertas bacterias alteran también las rocas calizas, de las que toman el carbono y en unión del agua y del nitrógeno atmosférico hacen la síntesis de la materia orgánica y dan lugar a la producción de nitratos (nitrificación de las rocas).

Esta descomposición de las rocas es la que da lugar a la formación del suelo arable que las cubre y redondea los fragmentos de las rocas; por esto los fragmentos que resultan de la rotura de las piedras graníticas redondeadas quedan formando caprichosas aglomeraciones, a veces en equilibrio casi inestable, que se llaman vulgarmente piedras caballeras.

Los fragmentos grandes de las rocas caen rodando por las pendientes y originan en las montañas aglomeraciones de cantos angulosos que, cementados, originan las brechas, y los fragmentos pulverulentos son transportados por el viento y depositados, originando la tierra laborable. En los países donde la dirección del viento es muy constante, las rocas presentan caras pulidas y esculpidas, resultando de la acción erosiva del viento sobre los materiales de diferente dureza que las componen, y este transporte de arenas por el viento es el origen de las *dunas*, *médanos* o *arenas voladoras*, montículos que, avanzando como olas de arena, van invadiendo y esterilizando ciertos territorios, y en los que se contiene su avance mediante inteligentes plantaciones.

El transporte de materiales por el viento da lugar también a depósitos de sedimentación aluvial como el *loess* o arena caliza, que forma grandes extensiones de terrenos muy fértiles en Asia y en Europa.

Acción de las aguas subterráneas.—El agua que se introduce en las grietas de las rocas con diaclasas o se infiltra a través de las rocas permeables producen alteraciones en las que se encuentra a su paso o las disuelve si son solubles, originando cavernas muy frecuentemente llenas de estalactitas y otros depósitos subterráneos.

En los terrenos fracturados se forman verdaderos ríos subterráneos que presentan cascadas, lagos y salen al exterior por manantiales vaclusianos.

Acción de las aguas salvajes.—El agua que cae en la superficie provoca acciones muy manifiestas, sobre todo en los terrenos impermeables o con mucha pendiente, que impide la infiltración.

Los terrenos arcillosos son atacados por dichas aguas, produciendo una serie de crestas agudas que se observan también en las rocas solubles, como la sal, y aun en la caliza cuando es atacada por aguas carbónicas, produciendo terrenos de aspecto curioso y difíciles de transitar que se deno-

minan *lapiez*. La hidratación de ciertas rocas por las aguas superficiales origina también derrumbamientos de tierras que en los países montañosos pueden causar grandes desastres y cubrir grandes extensiones de un manto detrítico.

El agua superficial bien pronto se reúne formando arroyuelos, los que por su unión dan lugar a los ríos, cuya erosión es más manifiesta y más regular.

La erosión fluvial.—De todos los agentes que modifican la superficie de la tierra, los ríos son seguramente los más potentes, produciendo la erosión y denudación de los terrenos por que atraviesan transportando los materiales y depositándolos, constituyéndolo los terrenos llamados aluviales o de aluvión.

La erosión de un río depende de su velocidad y de su caudal (la primera es, a su vez, función del caudal y de la pendiente). En un río en general el caudal aumenta del nacimiento a lo desembocadura, y por tanto, la erosión empieza por ésta y va ascendiendo hasta aquél; por esto, contra lo que a primera vista pudiera creerse, la erosión camina en sentido inverso de la corriente. Todo río va profundizando su cauce hasta conseguir su perfil de equilibrio, que asegura una corriente regular en todo él, y alcanzando el cual la erosión es nula. El punto más bajo del río y por debajo del cual no hay erosión, se denomina nivel de base, y está determinado por el nivel del mar, lago o río donde desemboca.

En todo río se distinguen tres partes. En la primera, llamada torrencial, la pendiente y, por tanto, la velocidad del agua es muy grande y el caudal pequeño, predominando la erosión sobre la sedimentación; en la segunda, la velocidad y la erosión son más moderadas, y el depósito de materiales relativamente gruesos, corriendo el río por valles profundos y estrechos. En su tercer tramo, cerca ya de la desembocadura, la velocidad, completamente amortiguada por la falta de pendiente, hace que la erosión sea nula y la sedimenta-

ción de materiales finos muy intensa, formando extensos mantos diluviales que cubren anchurosos valles.

La observación de los torrentes montañosos es muy instructiva, distinguiéndose una cuenca de recepción de las aguas, un canal estrecho, donde se reúnen, y un cono de deyección, donde se depositan los materiales detríticos. Estas tres partes son comparables a las tres partes que hemos distin-



Fig. 102.

guido en el río, siendo la torrencial la cuenca de recepción, la intermedia el canal, y la última el cono de deyección. La (fig. 102) representa la erosión de un torrente y la

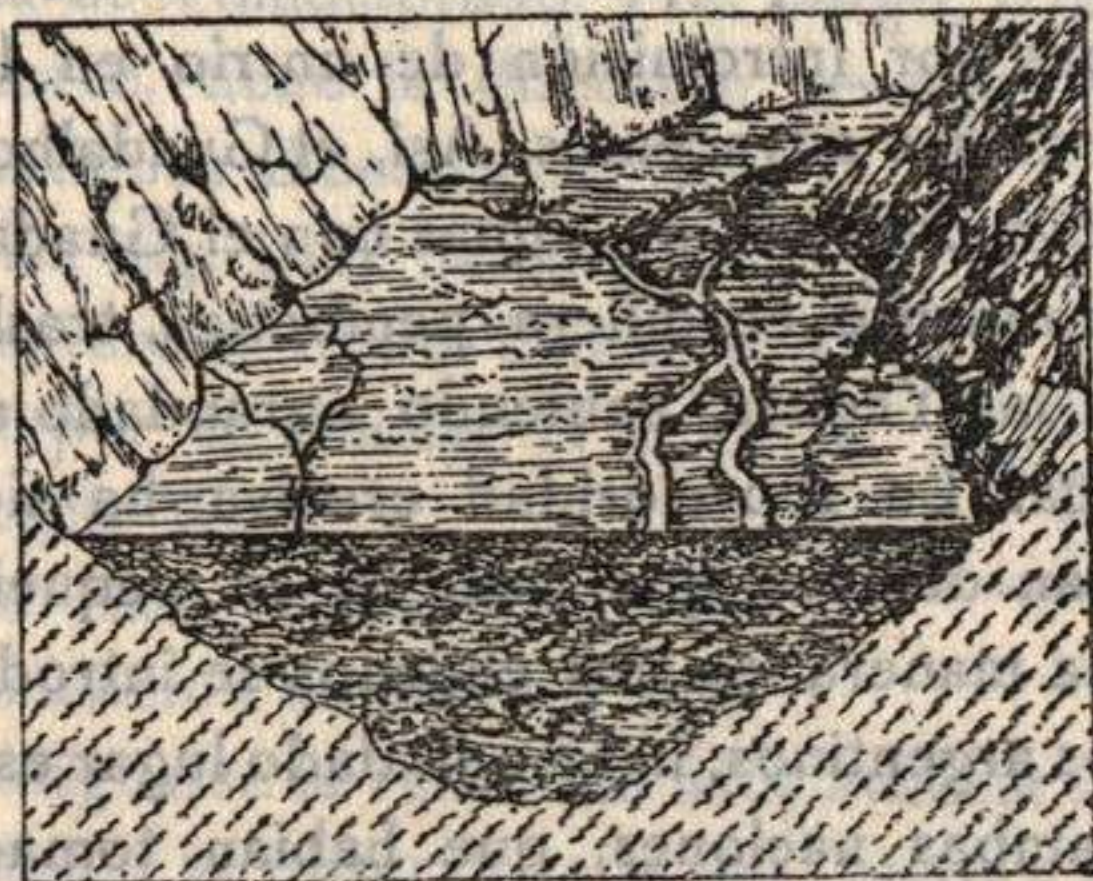


Fig. 103.

(fig. 103) las divagaciones de un arroyo sobre sus sedimentos.

La erosión hace retroceder el nacimiento del río y de sus afluentes, aumentando la cuenca hidrográfica; mas como los ríos adyacentes también erosionan, se establece

una lucha que da lugar a la supervivencia del más apto, es decir, del de mayor potencia erosiva; ésta depende del caudal y de la pendiente media, es decir, de la relación del desnivel del

nacimiento a la desembocadura, a su longitud. Esta lucha fluvial da lugar a consecuencias muy interesantes, como son la emigración de las divisorias de aguas, las capturas y la unificación del drenaje.

La emigración de las divisorias de aguas hace que no

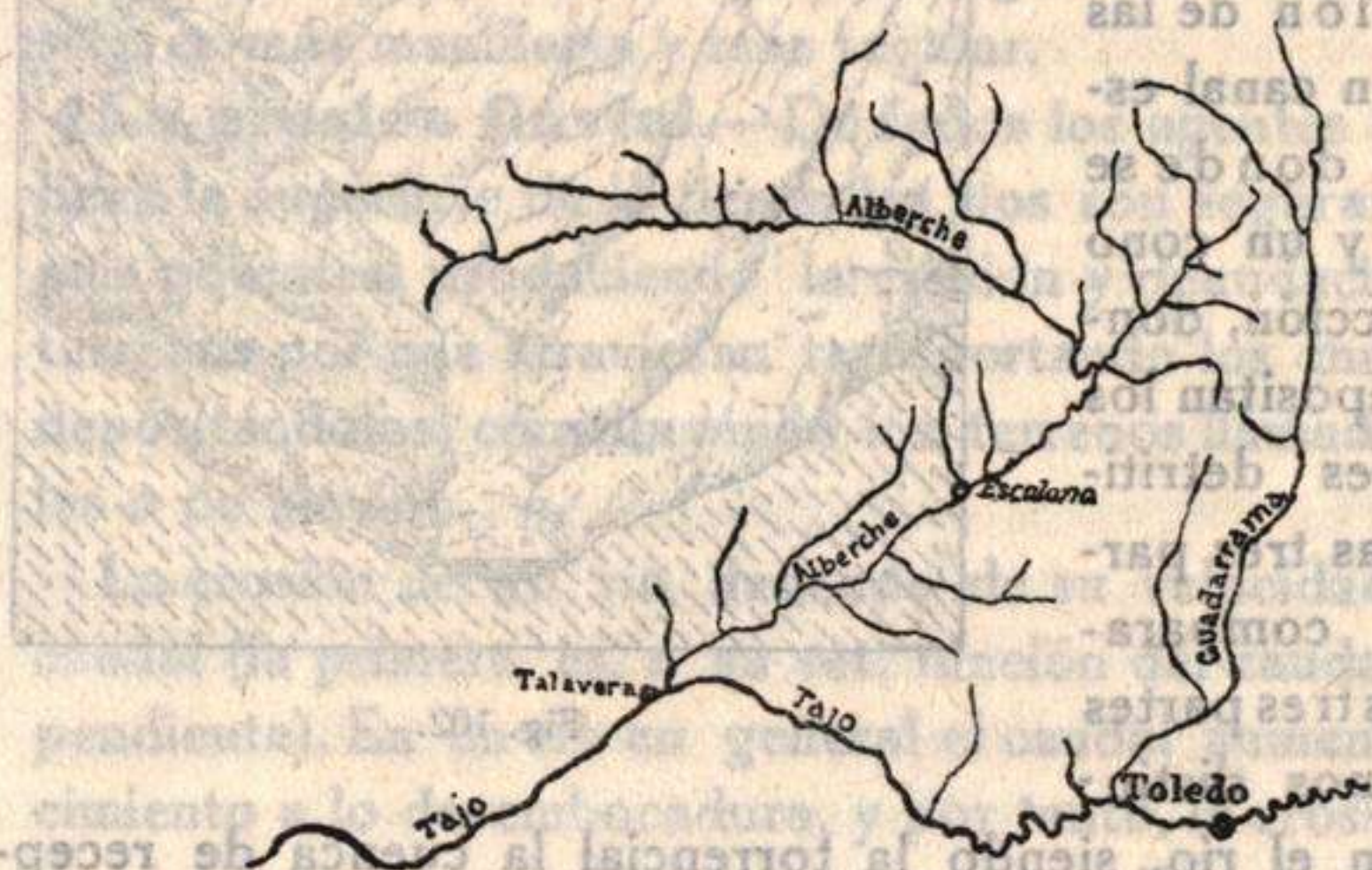


Fig. 104.

coincidan éstas con las alturas que primitivamente sirvieron de divisorias de aguas por intromisión de un río en las cuencas hidrográficas de sus adyacentes. Así, el Guadalhorce atraviesa su primitiva divisoria de aguas con el Guadalquivir, que era la imponente cordillera penibética, trasladándola a la sierra de las Yeguas, habiendo agrandado así su cuenca hidrográfica. La superioridad erosiva ha sido determinada por el gran desnivel que tiene en su pequeño recorrido. De la misma manera los ríos chilenos se introducen en la cuenca de los argentinos, habiendo dado lugar esto a un conflicto entre ambas naciones, que habían tomado como frontera la divisoria de aguas, suponiéndola invariable.

La introducción de un río en la cuenca hidrográfica de otro da lugar al curioso fenómeno de las capturas, mediante el cual la parte superior de los cursos de agua es captu-

rada por el río invasor. La existencia de tal fenómeno se reconoce por el codo brusco que presenta el río en el punto de decapitación y por la dirección que guarda el trozo capturado, en razón de su antigua orientación hacia el río que era tributario; así, el alto Alberche, (fig. 104) antiguo afluente



Fig. 105.

del Guadarrama, ha sido capturado por el bajo Alberche, que tiene un nivel de base inferior, formando un codo brusco cerca de Villadelprado, y el Burgo, Guadaleta y alto Guadalhorce, tiene la dirección de antiguos afluentes del Genil. La (fig. 105) da idea de la captura en el alto Danubio S D por el Neckar N y el Wutach W.



Fig. 106.

En las confluencias, la acumulación de detritus por amortiguarse la velocidad hace avanzar río abajo la confluencia como se observa en la del Duero y el Esla (fig. 106).

Las capturas de ríos, haciendo adquirir cada vez mayor importancia a los cursos de agua más potentes, es la causa de que unos cuantos reciban casi todos los ríos de un territorio, y así el agua que cae en nuestra Península es casi en su totalidad echada al mar por cinco grandes ríos.

La erosión fluvial parece a primera vista de poca importancia, puesto que está circunscrita al cauce del río; pero la complicación de la red hidrográfica, en unión con los torrentes, devasta todo el territorio, convirtiéndole en una superficie tangente a los perfiles de equilibrio de todos los cursos de agua, que es la penillanura o límite de la erosión. Un cambio del nivel de base origina una perturbación, y el rejuvenecimiento de toda la red hidrográfica y la historia de la Tierra no es más que una sucesión de ciclos en que han ido alternando los plegamientos y las penillanuras.

Acción del mar.—Como todos los agentes externos, la acción del mar comprende las tres fases de ablación, transporte y sedimentación.

Las olas, chocando contra los acantilados costeros, los minan por su base, y, desplomándose éstos, sirve el trozo desprendido de dique defensor primero; pero, pulverizado éste, sus fragmentos actúan de metralla para continuar la acción corrosiva del litoral. La acción es más manifiesta en las rocas blandas que buzan hacia el continente.

Los materiales arrancados a la costa quedan en suspensión los más finos, mientras los más gruesos forman una plataforma que bordea el continente. El choque oblicuo de las olas se descompone en dos fuerzas: una normal a la costa, que produce los efectos de ablación en el acantilado, y otra paralela, que origina una corriente que transporta los materiales finos, originando las playas y los cordones litorales o alineamientos de arena.

Las desembocaduras de los ríos quedan ya abiertas, formando los *estuarios*, ya encenagadas por los materiales que el río lleva en suspensión, que forman terrenos aluviales que van internándose en el mar, y en los que el río divaga y subdivide en brazos; tales formaciones reciben el nombre de *deltas* y abundan en los lagos y mares interiores; así el Ebro ha formado delta, (fig. 107) mientras que nuestros ríos oceánicos no. El Nilo, el Ródano, el Pó; en el Mediterráneo; el Da-

nubio, en el mar Negro; el Don en el Azof; el Volga y el Ural en el Caspio; el Missisipi, en el Golfo de Méjico, y el Ganges, en el de Bengala, forman delta.

En las regiones tropicales las costas están acompañadas de formaciones coralíferas que forman cinturas que las bordean, barreras dispuestas paralelamente a ellas, o islas circulares con una laguna en medio, muy abundantes en Oceanía.

Acción de los glaciares. — Los glaciares son masas de hielo que des-



Fig. .107



Fig. 108

cienden de la zona de las nieves perpetuas con un movimiento lento, adaptándose a las desigualdades del terreno, gracias a la plasticidad del hielo y a la propiedad que tiene de soldarse.

Los glaciares ocupan grandes extensiones en las regiones polares, y se forman también en las altas montañas (glaciares de valle o alpinos), de los países templados; están constituidos por un hielo compacto formado de cristales de nieve, corroídos y cementados por hielo originado por el agua procedente del derretimiento de la nieve superficial, que, al congelarse por en-

friamiento, infiltrada entre la nieve, cementa y corroe los cristales, dando lugar a una masa compacta, y evitan que la nieve se acumule en los altos picos. Las (figuras 108, 109 y 110) dan idea de la evolución de un territorio sometido a la acción glacial.



Fig. 109



Fig. 110

Los glaciares transportan los fragmentos angulosos (*cantos erráticos*) que se desprenden de las cumbres, desgastándoles contra el cauce; éstos forman filas laterales de cantos que pueden venir a ser centrales por confluencia con otro glaciar, y depositados a su terminación, forman aglomeraciones llamadas *morrenas* de cantos que se distinguen de los rodados o aluviales por ser angulosos y pulidos. Cuando por consecuencia de cambios climáticos el glaciar se alarga o se acorta, las morrenas avanzan arrastrando los ya depositados o se forman nuevas morrenas más atrás en el segundo caso.

Los glaciares polares terminan en el mar, en el que quedan flotando enormes témpanos de hielo o *icebergs*, que derivando a aguas más calientes, se deshacen, vertiendo al fondo del mar los cantos erráticos que empotraban, y los glaciares alpinos, terminan en torrentes que transforman los cantos erráticos o glaciares en cantos rodados.

La formación del modelado topográfico.

GEOMORFOGENIA

El modelado topográfico.—Cada país ofrece un aspecto panorámico peculiar que le da carácter, el cual depende de su configuración tectónica primitiva y de las modificaciones que los agentes exteriores han introducido en ella. La topografía de una región es, pues la resultante de las modificaciones operadas por los agentes externos (ablación, transporte y sedimentación) en la primitiva configuración tectónica, y su estudio permite deducir estas transformaciones.

La Geomorfogenia ha dado a la Geografía un carácter científico, puesto que permite explicar racionalmente la formación del modelado topográfico, que, lejos de ser caprichoso, obedece a causas determinadas.

Topografía fluvial.—Es la más importante, por ser los ríos los agentes más universales del modelo; ciertas regiones escapan, sin embargo, a su acción, como son los desiertos, por la falta, de agua; y las regiones polares y montañosas, porque el hielo viene a sustituir al agua en su acción erosiva.

Constituído un territorio de plegamiento, la disposición tectónica orienta la red hidrográfica el agua corre en la dirección del buzamiento de las capas, los anticlinales forman divisorias de aguas; los sinclinales, valles; las cubetas tectónicas, lagos, y el número de ríos principales que afluyen la mar es considerable. Para cada región bastará reconstruir, hecho el estudio estratigráfico de ella, su configuración tectónica, para conocer su primitiva hidrografía y compararla con la actual, lo cual nos dará idea de las transformaciones que ha sufrido. Éstas son en general tan profundas y numerosas, que la red fluvial actual puede diferir mucho de la primitiva.

Las desnivelaciones producidas por las fallas pueden dar

lugar a cascadas, pero éstas pueden también irse originando progresivamente en los pasos de rocas de diferente resistencia a la erosión. La diferente resistencia de las rocas a la erosión es también causa de la inversión completa del relieve tectónico.

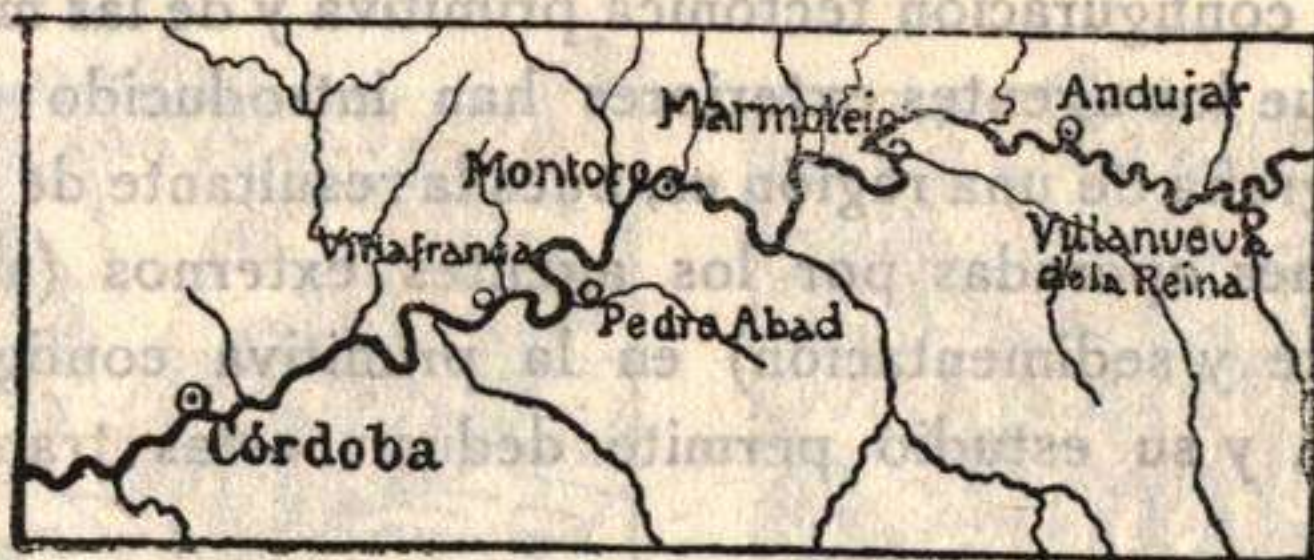


Fig. 111.

El ataque de un anticlinal por dos torrentes opuestos da lugar a la formación de un puerto o collado, y a veces a la captura de ellos. Las capturas sucesivas unifican la red hidrográfica, asumiendo un solo río las aguas de un gran número de ellos.

Cuando un río atraviesa rocas duras, la erosión de él predomina sobre la erosión en las vertientes por las aguas salvajes, y origina la formación de valles estrechos, llamados cañones, gargantas o riscas, mientras que en las rocas blandas el valle es más abierto. Si la naturaleza es distinta en las dos vertientes, se forma un valle asimétrico. La más ligera curva en un río hace que la erosión sea mayor en la orilla cóncava que en la convexa, y que el bucle vaya acentuándose, formándose así esos cursos sinuosos o meandrinosos, como el del Sena, y en España el del Guadalquivir (fig. 111) y el Ebro. El bucle, evolucionando, puede llegar a estrangularse, siendo abandonado por el río y quedando un lecho muerto o un lago semilunar si el río es muy caudaloso (fig. 112).

La red hidrográfica pasa en su desarrollo progresivo por tres fases, que se denominan de juventud, madurez y senectud.

Durante su juventud el río está muy lejos de alcanzar su perfil de equilibrio, la pendiente muy irregular, y la velocidad en sus diferentes tramos, también es muy irregular. Las cataratas y los lagos tectónicos son muy frecuentes, los de-

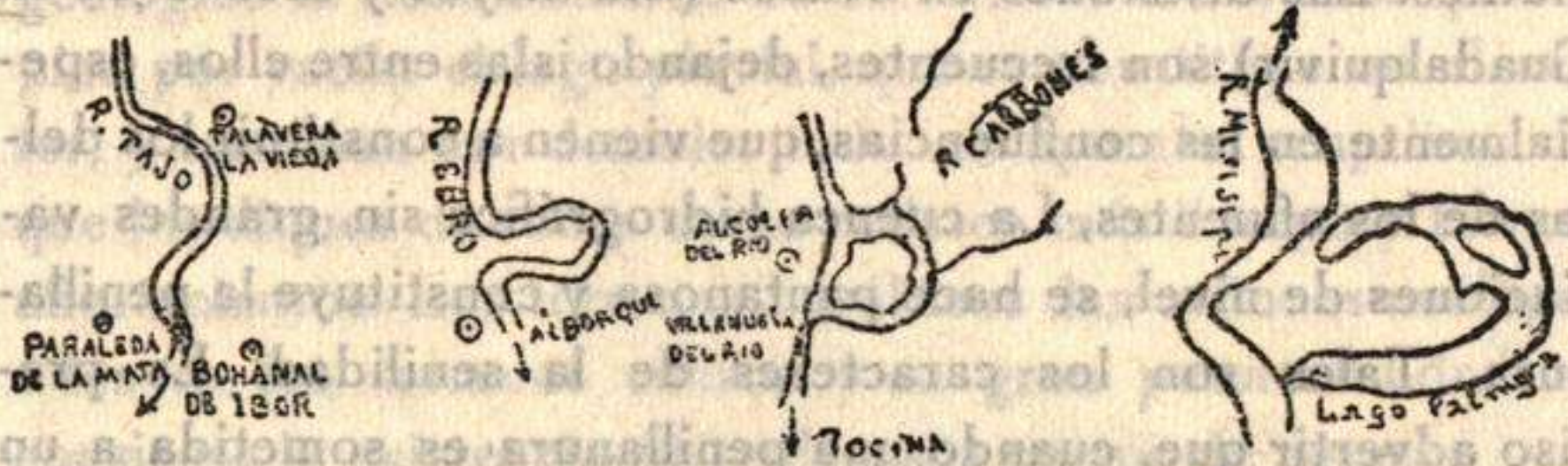


Fig. 112.

pósitos aluviales poco importantes, y la erosión intensísima. De la actividad febril de los cursos de agua en su juventud, nos dan idea los arroyos de montaña, en que por tardar la erosión reguladora en llegar a ellos, están casi todos en su periodo juvenil.

En la madurez el río alcanza su perfil de equilibrio y la pendiente, y el caudal están muy regularizado, las cataratas se transforman primero en rápidos, por efecto de la erosión, que hace retroceder el escalón; después, los rápidos originan remolinos, en los que girando las piedras ahuecan pozas que van transformando el rápido por careamiento de la piedra en pendiente regularizada. Los lagos desaparecen por relleno con los materiales que aporta el afluente y por descenso del nivel que resulta de la erosión del emisario. Las ondulaciones del río se van paulatinamente exagerando, por erosión de la margen cóncava y aluvionamiento de la convexa, dando lugar a los meandros; los deltas se constituyen, y en fin, toda la región da una impresión de armonía y equilibrio.

La evolución llega más allá; cuando todos los cursos de agua han llegado a su perfil de equilibrio, la destrucción de

las vertientes persiste hasta el mismo perfil, la erosión desaparece en el río, que se desliza lenta y trabajosamente por su cauce colmado de aluviones, no acarreando más que tenues partículas arcillosas y divagando en vanas planicies de aluvión, abandonando a veces puentes, que vienen a ser inútiles. Las divisiones en brazos (isla mayor y menor en el Guadalquivir) son frecuentes, dejando islas entre ellos, especialmente en las confluencias, que vienen a constituir los deltas de los afluentes. La cuenca hidrográfica sin grandes variaciones de nivel, se hace pantanosa y constituye la penillanura. Tales son los caracteres de la senilidad. Es preciso advertir que, cuando una penillanura es sometida a un movimiento orogénico o a un desplazamiento geocrático o hidrocrático, la red fluvial se rejuvenece por variar el nivel de base, y la región puede volver a tomar el aspecto infantil.

Influencia de las rocas en el modelado topográfico.—La naturaleza de las rocas influye mucho en el aspecto del terreno como factor principalísimo. Los paisajes graníticos forman valles anchos, montes redondeados y puertos ondulados poco profundos. Las acumulaciones de grandes bloques redondeados, llamadas *pedras caballeras* les da un aspecto pintoresco.

Los terrenos arcillosos forman valles en V de aspecto senil y relieve vago, producido por frecuentes desprendimientos.

El gneis forma riscas y la caliza cañones, que ofrecen con frecuencia puentes naturales y desapariciones de ríos. Las areniscas y conglomerados dan lugar a escarpamientos pintorescos que semejan ruinas.

La asociación de rocas diversas origina modelos interesantes que es imposible detallar aquí; así, la alternancia de bancos de caliza y arcilla produce escarpes en escalera, y en general, toda roca dura marca su afloramiento por una rotura de pendiente,

Topografía volcánica.—Hasta ahora nos hemos ocu-

pado del modelo fluvial en terrenos sedimentarios, pero el volcanismo, creador de relieves postizos, forma una topografía más localizada y con caracteres especiales. La forma cónica de los volcanes impone a la erosión la constitución de torrentes divergentes, para los que se reserva en lenguaje geológico la denominación de *barrancos*, los cuales principian por vaciar el lago pluvial, que se constituye en el cráter, y terminan por demoler todo el aparato eruptivo, del que los diques de rocas duras resisten más tiempo y forman afloramientos. Los terrenos basálticos dan cañones análogos a los de los terrenos calizos, y su gran permeabilidad no consiente la existencia de poderosos cursos de agua.

Topografía glaciaria.—En los países polares y montañosos la erosión fluvial es sustituida por la glaciaria, que forma valles y circos de aspecto especial y aglomeraciones de cantos erráticos llamadas canchales o morrenas, a veces de grandes dimensiones y cuyo transporte es indudable, por ser de distinta naturaleza litológica que el suelo que las sustenta y de la misma que la montaña de la cual han descendido. Los pintorescos lagos de las altas montañas tienen también frecuentemente un origen glaciario, habiéndose acumulado el agua en la depresión fraguada por el glaciario y contenida por diques morrénicos.

A primera vista parece que la topografía glaciaria ha de ser muy limitada por reducirse a las regiones donde existen glaciares: pero el gran desarrollo que tuvo el glaciario en la época cuaternaria ha dejado su huella en regiones que fueron visitadas por los glaciares, aunque hoy no existen: así, el Báltico y el Mar del Norte son depresiones del gran escudo glaciario que convirtió la Alemania del Norte en un país morrénico del tipo de los que hoy pueden observarse en Groenlandia, y en nuestro país que no presenta en la actualidad más que pequeños glaciares suspendidos en los Pirineos, todas sus grandes cordilleras estuvieron glaciarizadas, encontrándose lagunas glaciares que lo atestiguan en la

cordillera Cantábrica, Urbión, Guadarrama, Gredos y Sierra Nevada. Característico de los valles glaciales es su forma en U, lo que los distingue de los fluviales de laderas más inclinadas que tienden a la forma en V.

Topografía desértica.—Regiones muy extensas hay



Fig. 113.

en el Globo, en donde ni la erosión fluvial ni la glaciación han entrado en juego, presentando una fisonomía especial, debida principalmente a las acciones

atmosféricas. Tales son los desiertos que, a pesar del poco interés que ofrecen para las empresas humanas, han sido objeto de valientes investigaciones por parte de diversos geólogos.

Los desiertos no son siempre llanuras de arena, como vulgarmente se cree, sino que hay también desiertos montañosos. El desierto pedregoso presenta muy marcadas las trazas de la erosión atmosférica en sus piedras secas y esculpidas por el viento, y es mucho más inhospitalario y árido que el desierto de arenas, formado de dunas más transitables y más húmedas; en razón de su más bajo nivel, las raras lluvias son muy violentas y producen ríos provisionales que desaparecen por evaporación y encenagamiento, bajando de las montañas desiertas a las dunas de arena.

Topografía litoral.—La acción del mar da a las costas un aspecto que merece tratarse como un modelo aparte. La alternancia de los acantilados y las playas, el descarnamiento de las rocas duras que se internan en el mar formando cabos; la corrosión de las blandas que da origen a bahía; la formación de estuarios y deltas, las arcadas natu-

rales, etc., son caracteres de la topografía litoral. Los cordones litorales pueden enlazar las islas a los continentes, transformándolas en penínsulas, como la de Quiberón, en Francia. También son ejemplos de estas formaciones llamadas tombolos, el

monte Argentario en Italia, y en España el de San Sebastián (fig. 113).

Otras veces, el cordón litoral aísla lagunas como en la costa alemana del Báltico, donde se denominan Hall, y Nehrumg al cordón litoral. Estas lagunas, saladas primitivamente, se convierten en agua dulce por la acción de los ríos que en ellas desembocan, y en las que edifican sus deltas y concluyen por rellenarlas con sus aluviones. Buenos ejemplos de estas lagunas son también la Albufera y el mar Menor de nuestra Península.



Fig. 114.

Estas lagunas, saladas primitivamente, se convierten en agua dulce por la acción de los ríos que en ellas desembocan, y en las que edifican sus deltas y concluyen por rellenarlas con sus aluviones. Buenos ejemplos de estas lagunas son también la Albufera y el mar Menor de nuestra Península.

Los movimientos hidrocráticos, inundando la última porción de los ríos, explican la existencia de valles fluviales submarinos, y así, el cauce del Duero y del Tajo se continúa en el Atlántico, (fig. 114) demostrando un hundimiento de la costa occidental de la Península. Por el contrario, los movimientos geocráticos originan los valles suspendidos, desembocando los ríos en una catarata.

Las formaciones coralígenas son también accidentes topográficos, comunes en las costas tropicales.

Las costas de territorios de plegamiento pueden presentar dos tipos opuestos: o bien la dirección de los pliegues es paralela a la costa, y en ese caso ofrece una serie de islas

alargadas y paralelas a la costa que dejan entre sí canales también paralelos, como ocurre en la costa de la Dalmacia en el Adriático, o bien los pliegues son perpendiculares a la costa y ésta presenta una serie de dentalladuras como sucede en el Asia Menor. En Galicia, un tipo litoral notable existe con las *rías*, escotaduras de laderas no muy abruptas, por donde el mar se introduce sin ramificarse: un pequeño río desemboca en ellas, por lo que no pueden considerarse formadas por él, sino por torrentes intensos que han erosionado las zonas de débil resistencia y cuyos cauces han sido después parcialmente sumergidos. Origen análogo parecen tener las *calas* de las Islas Baleares.

No son solo las regiones plegadas las que originan costas sinuosas; las más recortadas tienen un origen glacial, como son las de Patagonia, Islandia, Escocia, y sobre todo Noruega, donde las dentalluras reciben el nombre de *fjords*, brazos de mar que se internan y ramifican en tierra, con laderas abruptas, por donde se despeñan los lagos y ríos, formando encantadoras cataratas.

G E O G E N I A

Geogenia.—Es la parte de la Geología que indaga el pasado de la Tierra. El conocimiento de este pasado se basa en datos astronómicos y geológicos. Los primeros han servido a Laplace para emitir una hipótesis acerca de los primeros períodos de la Tierra, denominados cosmogónicos. Los segundos, más numerosos y más precisos, se refieren a los períodos siguientes, denominados geológicos, en que, constituida la Tierra análogamente a como hoy está, los fenómenos geológicos que ocurrieron son comparables a los que se realizan hoy día, y podemos, gracias a ello, darnos cuenta de las vicisitudes por que ha pasado nuestro Globo durante ellos.

Los tiempos geológicos.—Constituida la corteza terrestre, los fenómenos geológicos comienzan a obrar como en la actualidad los agentes internos edifican las tierras que los externos se encargan de demoler, transportando al mar sus materiales y sedimentándolos en él. La sucesión de los ciclos se establece, y la lucha entre los agentes internos que irregularizan el relieve y los externos que trabajan en igualarle, constituye la serie de interesantes episodios que la Geogenia va historiando, y durante los cuales, dulcificada la temperatura, la vida aparece, pobre en sus albores, rica y variada después, tomando posesión de los mares primero, expansionándose después por todos los medios y dejándonos en los antiguos sedimentos sus restos reveladores de las condiciones de existencia de su época, y así el hombre, sin haber existido durante estos períodos, puede hoy darse cuenta de aquellos períodos y de los seres que durante ellos vivían.

Principios de la restauración de las edades geológicas y su cronología.—Se ha comparado, muy acertadamente, la corteza terrestre a un libro, porque cada estrato es una hoja donde el geólogo lee una página de la historia de la Tierra.

Cada capa, en una formación estratificada, representa un período de tiempo, durante el cual las condiciones han quedado idénticas, acusándonos las diversas capas otras tantas variaciones en las condiciones de sedimentación. El orden en que están dispuestas las capas nos indica el orden en que se han sucedido los períodos; toda capa superpuesta a otra representa (salvo caso de inversión) un período posterior al que formó la primera.

Dos capas de países alejados sería imposible saber si eran coetáneas, o, en caso de no serlo, cuál era anterior, pues ni el ser de la misma naturaleza petrográfica permite considerarlas contemporáneas, por cuanto las mismas condiciones de sedimentación han podido verificarse en épocas

distintas; y tampoco el que su naturaleza litológica sea diversa es razón para considerarlas de distinta época, por cuanto que en una misma varían como en la actualidad la naturaleza de los depósitos. Afortunadamente los fósiles constituyen un medio precioso de establecer la cronología geológica, porque las faunas y floras han ido variando durante las etapas sucesivas, y se conoce hoy con bastante precisión los seres que corresponden a las facies de cada período.

La Estratigrafía aporta también datos valiosísimos, sobre todo en la determinación de la edad de las capas no fosilíferas. Las discordancias nos revelan las vicisitudes orogénicas e intervalos de reposo en la sedimentación. En fin, un gran número de principios que es imposible detallar aquí permiten al geólogo experto reconocer la edad de una capa y restaurar el paisaje de la época en que se formó.

Los períodos geológicos.—La historia geológica del Globo se divide en cuatro grandes etapas denominadas eras, a saber: Arcaica, Primaria, Secundaria, Terciaria y Cuaternaria. El conjunto de terrenos pertenecientes a una misma era constituye una serie, que están bien delimitadas entre sí, por descansar unas sobre otras con marcada discordancia, y por poseer faunas y floras fósiles distintas.

Los primeros geólogos, para explicar el hecho de que cada serie tuviera una fauna distinta, admitían, con Cuvier, que al final de cada era habían ocurrido grandes cataclismos que habían destruído todos los organismos y una nueva creación había poblado la era siguiente. Según esta teoría, la renovación de las faunas quedaba explicada por una serie de creaciones sucesivas después de cada cataclismo. Semejante teoría ha sido por completo abandonada, por estar en manifiesto desacuerdo con muchos hechos geológicos y con las modernas doctrinas de formación de los seres vivos, y explicase la renovación de las faunas por la evolución de los seres al cambiar las condiciones climatológicas en el trans-

curso de los períodos geológicos. La antigua teoría de los cataclismos no podía explicar por qué ciertos seres habían vivido en diferentes eras, hecho que nada tiene de particular en la moderna manera ver, puesto que la fauna de una era es la misma que la de la anterior, adaptada y evolucionada a las nuevas condiciones de existencia. La desaparición de muchos seres encuentra también fácil explicación en la doctrina moderna, porque al variar las condiciones del medio, si bien ciertas especies han podido sobrevivir, modificándose y adaptándose a las nuevas condiciones, otras, dotadas de menos flexibilidad orgánica, han sucumbido, incapaces de soportar las nuevas circunstancias; robustece esta opinión el estudio de la resistencia de los organismos actuales a los cambios de medio.

Parece a primera vista imposible de explicar por la moderna teoría los cambios bruscos de fauna que se observan entre dos series consecutivas, puesto que la evolución es lenta y progresiva y no puede admitirse que se haya operado de una manera súbita al comienzo de una nueva era. Estos cambios bruscos de fauna, que eran el principal apoyo de la teoría de los cataclismos, no sólo se explican hoy satisfactoriamente, sino que suministran datos valiosísimos acerca de la conformación de los continentes y de los mares de tan remotos períodos. La rotura de un istmo que separaba dos mares de fauna diferente, ha sido en muchos casos la causa de la variación brusca de una fauna, y así, los terrenos sedimentados con posterioridad a la dislocación encierran una multitud de especies fósiles que no se encuentran en las anteriores. Y en general la aparición y desaparición de las barreras naturales para la dispersión de los seres vivos, reglando como hoy día la distribución de ellos, explica de una manera muy luminosa e instructiva las renovaciones bruscas de faunas. Comprueba todavía esta explicación la coincidencia de las renovaciones de faunas con fenómenos orogénicos y grandes dislocaciones, que han

dado origen a las discordancias que se observan entre las series.

Las eras geológicas se dividen en periodos; los periodos; en épocas; las épocas, en edades, y las edades, en hemeras.

DIVISIONES GEOLÓGICAS

Cronológicas.	Estratigráficas.
Eras	Series.
Períodos	Sistemas.
Epocas	Grupos.
Edades	Pisos.
Hemeras	Zonas.

Los periodos geológicos.

ERA ARCAICA

Esta era abarca dos periodos, el *azoico* y el *algonkiense*; y comprende los terrenos más antiguos, sobre los cuales se han depositado los demás, por lo que sólo son visibles donde faltan éstos, por haber estado siempre emergidos o por haber desmantelado la erosión los sedimentos posteriores que les cubrían. Los restos orgánicos sólo se encuentran en la parte superior y muy escasos, por lo que se considera que durante el primer periodo la vida no existía y se ha denominado azoico. Es muy posible, además, que los primeros seres, probablemente protoplásmicos, no tuvieran condiciones de fosilización, y muchos autores consideran las calizas y carbones de estos terrenos como procedentes de los primeros organismos, cuya estructura orgánica ha desaparecido por el potente metamorfismo que han sufrido.

Los terrenos arcaicos forman enormes extensiones con un espesor considerable, por lo que se sospecha que su duración fué grandísima, y están formados de gneis y pizarras cristalinas, atravesadas por filones de granito, serpentina y calizas sacaroideas. Gran parte de la América septentrional

y del Norfe de Europa, el NO. de España y nuestras más importantes cordilleras (Sierra Nevada, Carpeto-vetónica, Pirineos); están formadas de este terreno.

ERA PRIMARIA

Los estratos primarios, llamados también *terrenos de transición*, están formados por terrenos pizarrosos y cuarcíferos en la parte inferior y calizos en la superior, muy plegados y dislocados, descansando encima de los materiales arcaicos.

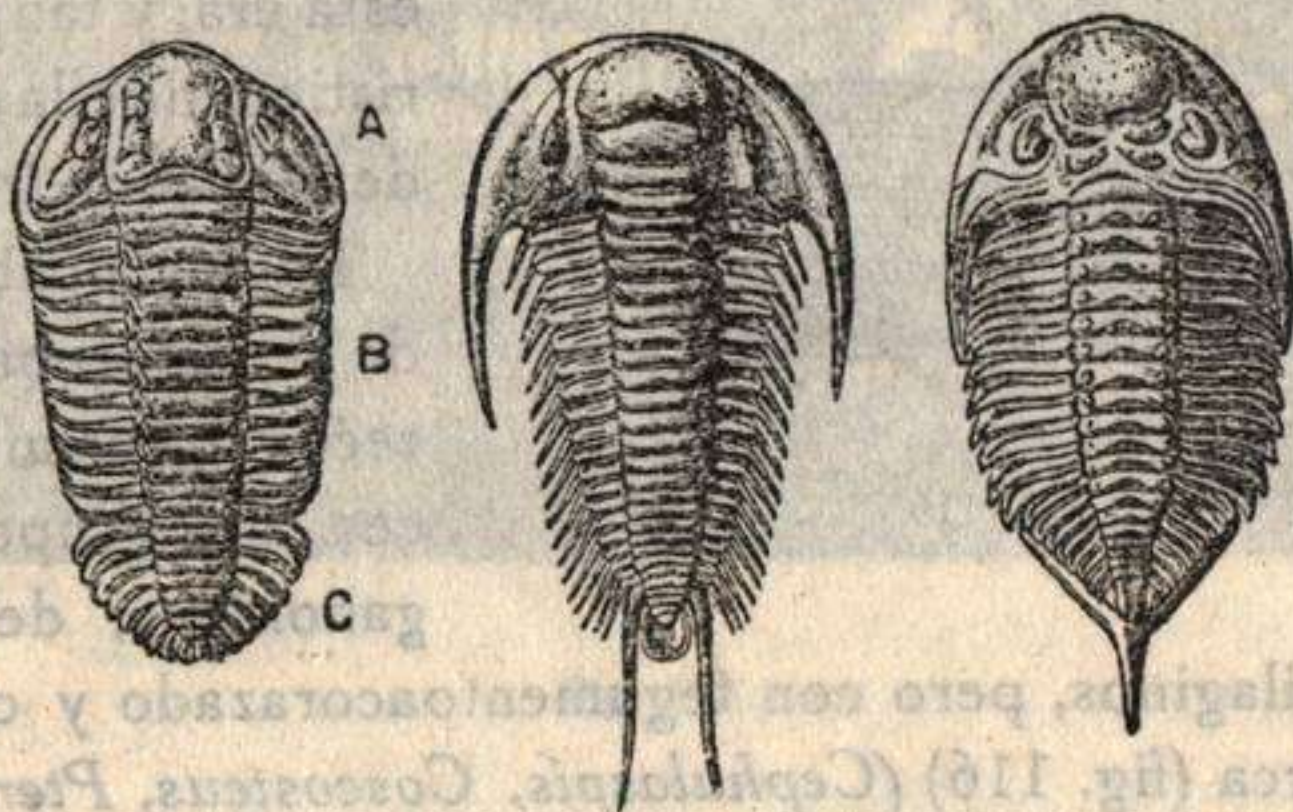


Fig. 115.

La naturaleza de los sedimentos y fósiles de esta era, llamada también *paleozoica*, o de los seres antiguos, indica que mares muy extensos y poco profundos cubrían la Tierra, muy cálida todavía y sin zonas climáticas, puesto que las mismas especies tropicales vivían en el Ecuador que en los Polos, y el follaje persistente indica la falta de estaciones. La vida en los continentes era escasa por la poca extensión y solidez de ellos; pero en su terminación las tierras bajas y húmedas se poblaron, favorecidas por una atmósfera cálida, húmeda y pesada, de una vegetación tan exuberante como no ha vuelto a conocer el Globo, y cuyos vestigios han dado lugar al carbón de piedra que hoy se explota.

En los mares primarios vivieron foraminíferos (*Fusulinas*)

hidrozoos planktónicos denominados *Graptolites*, y celentéreos con polipero, extraños equinodermos fijos (*Cístidos*), cefalópodos análogos a las nautilus llamados *Orthoceras*, braquiópodos (*Lingula*, *Spirifer*, *Productus*), y curiosos

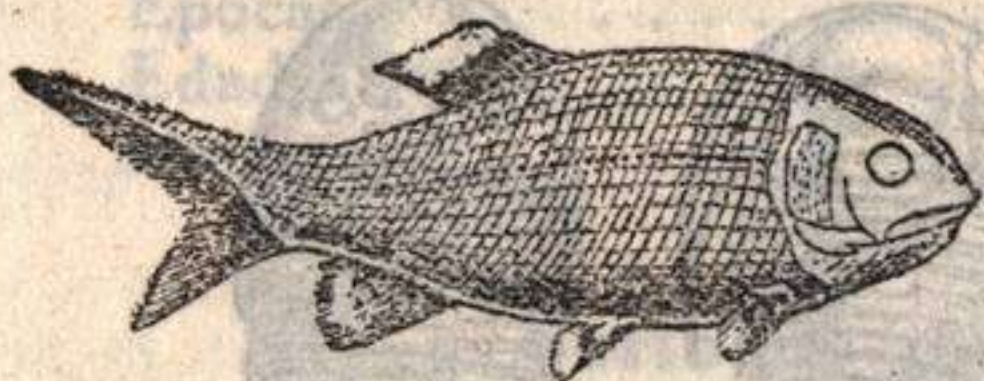
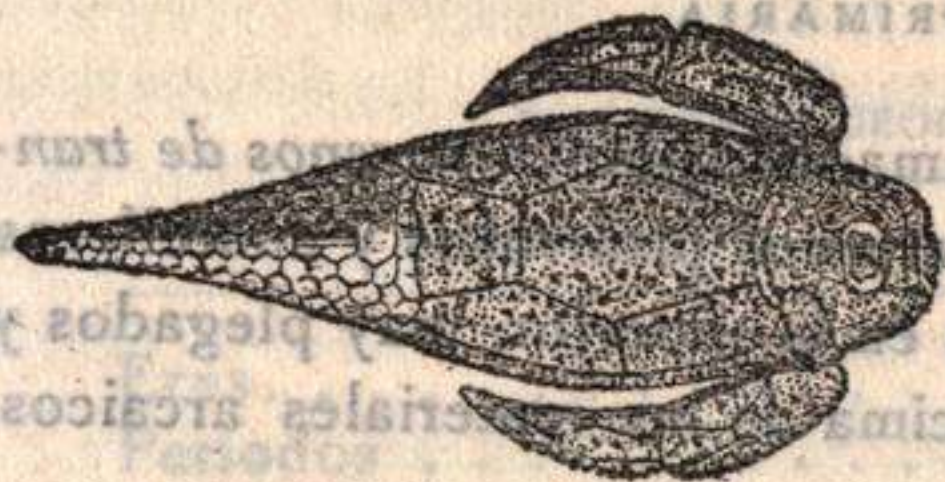


Fig. 116.

merostomas (*Gigantostotráceos*) y crustáceos, entre los cuales son dignos de mención especial los *Trilobites*, (fig. 115) exclusivos de esta era, y tan característicos de ella que se ha denominado *trilobítica*.

En las postrimerias de la era primaria aparecen los primeros peces, del grupo de los ganoideos, de esque-

leto cartilaginos, pero con tegumento acorazado y con cola heterocerca (fig. 116) (*Cephalaspis*, *Coscosteus*, *Pteryichtys*).

La fauna de los continentes primarios era muy pobre, y sin duda el gran desarrollo de la vegetación carbonífera purificó la atmósfera y preparó el desarrollo de la vida aérea. Estos extraños bosques carboníferos, (fig. 117) desprovistos de flores porque las fanerógamas no habían aparecido, formados de criptógamas vasculares (helechos, equisetos y licopodios gigantes), no sirvieron para anidar las aves ni fueron visitados por ninguna clase de cuadrúpedos: extraños escorpiones y curiosos insectos (*Protophasma*) fueron sus únicos habitantes. En las postrimerias de la era primaria comienzan sin embargo los vertebrados aéreos, con curiosos semireptiles, semibatracios, que son el primer indicio de la extraña y variadísima fauna reptiliana que se desarrollara en la era siguiente, en la que subsistirán algunos como los *La-berintodontos*.

Fué la era primaria época de grandes acontecimientos orogénicos que fueron paulatinamente ampliando la extensión del Globo, y dieron paso a rocas ácidas que atra-



Fig. 117.

vesaron los sedimentos paleozoicos. Comprende los periodos Precámbrico, Silurico, Devonico, Carbonífero y Pérmico.

ERA SECUNDARIA

La era secundaria o *mesozoica* comprende depósitos de margas y areniscas en su parte inferior, mientras que en la superior predominan las calizas, formando potentes bancos. Estos depósitos acusan un régimen oceánico tranquilo, sin los grandes movimientos orogénicos tan frecuentemente renovados en la era primaria, y sólo oscilaciones lentas del suelo modificaron el contorno de los continentes sin cambiar su distribución. Como consecuencia, la actividad eruptiva del Globo queda adormecida, y las erupciones, raras desde luego, son de naturaleza porfírica.

En los mares secundarios vivieron en abundancia foraminíferos como las *Globigirinas*, pólipos constructores de arrecifes y equinodermos del grupo de los lirios de mar (*Encrinites*); pero las especies más típicas se encuentran en el grupo de los moluscos, bivalvos representados por los *Rudistas*; de los cefalópodos de concha interna, como los *Belemnites*, (fig. 118) y de concha externa tabicada por tabiques más o menos pintorescos, como

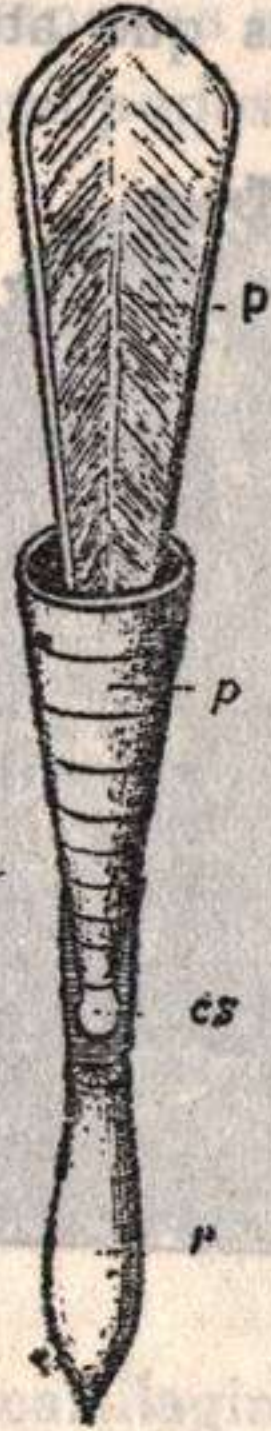


Fig. 118.



Fig. 119.

los *Ammonites*. (fig. 119). Estos últimos, que ya se iniciaron en la época primaria, son los más utilizados, por la gran variedad de formas que presentan, para la caracterización de las diferentes épocas secundarias. Los primeros ammonites tenían la concha arrollada y los tabiques poco complicados; después sus tabiques se complican, y por último, en las postrimerías de la época secundaria, son característicos los tipos de concha desarrollada. Estas conchas, a veces de tamaño gigantesco como la rueda de un carro, flotaban después de muerto el animal y se han depositado en toda clase de terrenos, lo que permite hoy establecer el sincronismo de las formaciones de facies distintas.

En los continentes la vegetación pierde su potencia y las criptógamas son sustituidas por las gimnospermas primero,

las monocotiledóneas después, y por último las dicotiledóneas. La aparición de estas plantas de follaje caduco indica la aparición del régimen de estaciones, y la emigración de

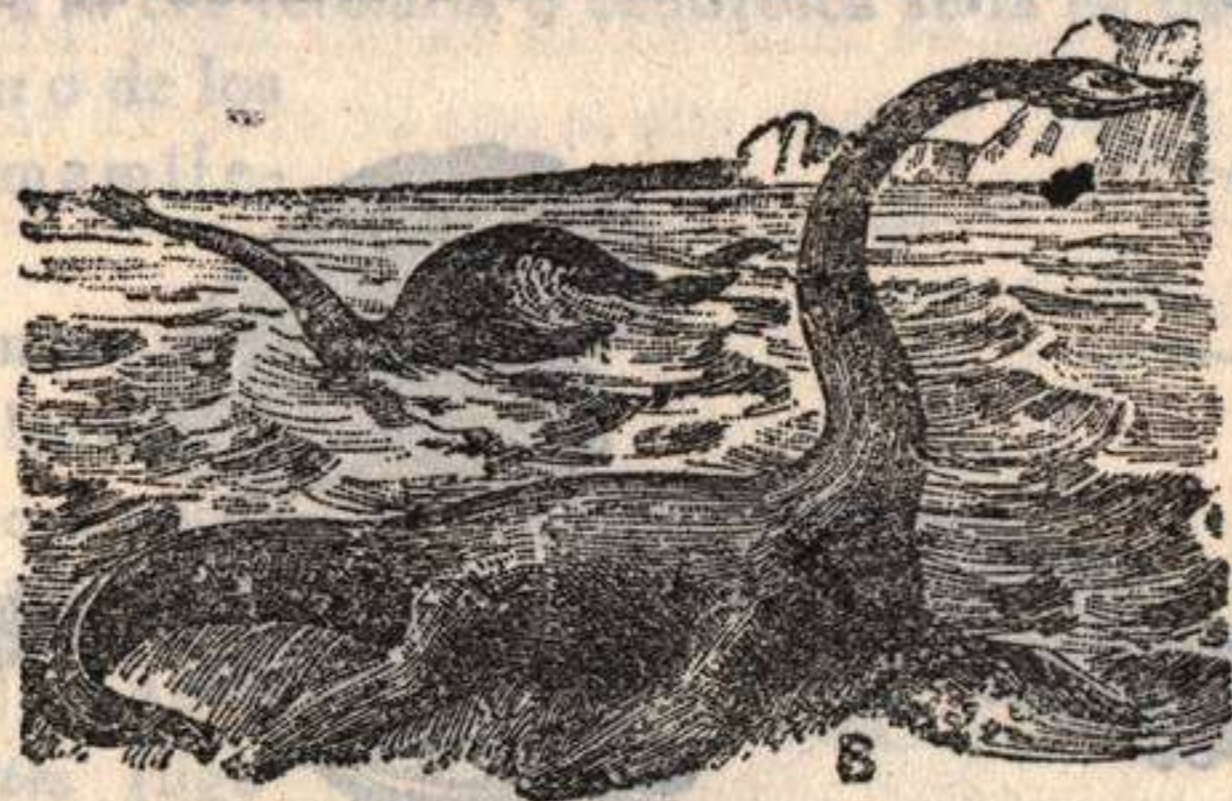


Fig. 120.

los corales hacia los mares del Sur, más cálidos, es prueba suficiente de que la Tierra sufre un progresivo enfriamiento.

Uno de los caracteres más salientes de la fauna secundaria es el gran desarrollo que toma el grupo de los reptiles, representado por formas gigantescas y variadísimas, por lo que algunos denominan la era secundaria o mesozoica, era *megalosáurica* o de los grandes reptiles. Unos fueron nadadores, como el *Ichthyosaurus* y el *Plesiosaurus*; (fig. 120) otros voladores, como el *Pterodactylus*; otros, en fin, terrestres, forman el gran grupo de los *Dinosaurios*: entre ellos unos, como los *Iguanodon*, se sostenían sobre las patas posteriores y la cola, como lo hacen hoy los canguros; otros, por último, andadores, como, el *Brontosaurus* *Stegocephalus* *Diplodocus*; algunos como los *Atlantosaurus* alcanzaban 40 metros de longitud, y los *Triceratops* poseían en la cabeza tres grandes cuernos. Otros se semejaban a los actuales cocodrilos, como los *Teleosaurus*.

Aparece también en el secundario las primeras aves y los primeros mamíferos, ambos muy inferiores, pues éstos están sólo representados por los monotremas y marsupiales,

y las aves tienen caracteres reptilianos muy manifiestos. La más antigua, el *Archaeopteryx*, (fig. 121) puede decirse que era un lagarto emplumado; su boca armada de dientes; su

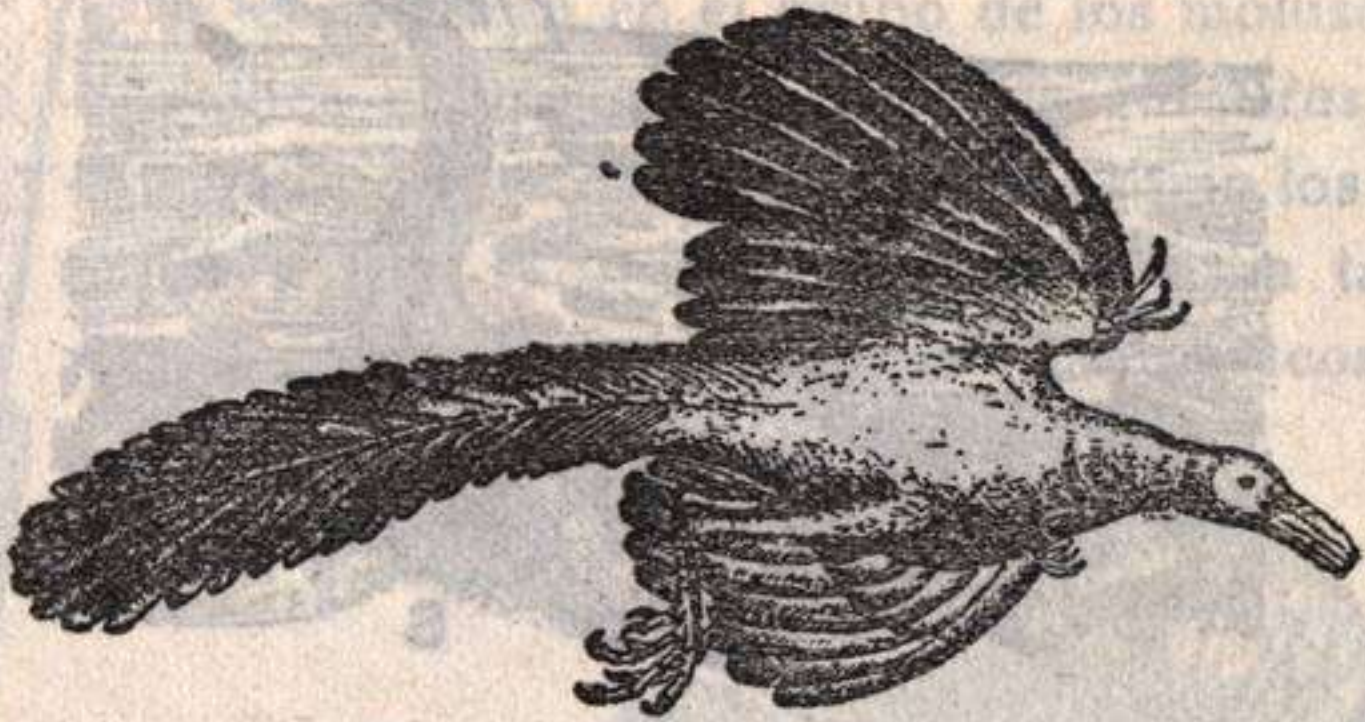


Fig. 121.

cola, muy larga y provista de un par de plumas por vértebra, y sus alas, poco adaptadas aún para el vuelo, llevaban fuertes garras. El *Archæopteryx* se conoce solamente por dos ejemplares encontrados en las calizas litográficas de Solenhofen (Baviera), en donde gracias a la finura de grano de la piedra, se ha conservado hasta la impresión de las plumas. El *Hesperornis* es un ave ya más perfeccionada, aunque posee todavía dientes y esternón sin quilla. Comprende esta era los períodos Triásico, Jurásico y Cretaceo.

ERA TERCIARIA

Durante la era terciaria o *cenozoica* se despierta la actividad orogénica del Globo, que pliega los estratos secundarios y establece los trazos generales de relieve actual, lo que da lugar a la formación de grandes pantanos en los continentes, conformados ya muy análogamente a como lo están hoy día, y alrededor de cuyos lagos se desarrolla una variada fauna de grandes mamíferos herbívoros, (fig. 122) hipopótamos, rinocerontes, tapires, elefantes, monos, ru-

miantes, análogos a los de hoy día, cuyos esqueletos se encuentran actualmente en las formaciones terciarias lacustres. Por esto, a la era terciaria o cenozoica se la ha denominado *paleotérica* o de los antiguos mamíferos.

Merecen especial mención los foraminíferos que vivieron en la época terciaria, llamados *Nummulites* (figura 123) por presentar las formas de



Fig. 122.

monedas, y cuyo tamaño es gigantesco con relación a los actuales. Abundan los moluscos univalvos y bivalvos, análogos a los actuales; entre los peces, los tiburones, y entre los anfibios, salamandras, tan grandes que se tomaron por esqueletos humanos (*Homo diluvii testis*), y aves de gran talla, que algunas existen hoy día localizadas en los climas cálidos, por lo que, aunque las estaciones se iban acentuando, la zona cálida debía ser mucho más extensa que hoy día.



Fig. 123.

Entre los mamíferos merecen citarse los *Mastodontes*, elefantes que tenían cuatro dientes largos y rectos; los *Dinotherium* con dos en la mandíbula inferior encorvados hacia abajo, y elefantes análogos a los actuales. Tapires con cinco dedos en el eoceno, en los que van atrofiándose los dedos externos hasta dar lugar al caballo actual, con un solo dedo y dos rudimentarios. La misma reducción de dedos se observa en los rumiantes hasta llegar a los actuales, con sólo

los dos dedos centrales, y en general puede decirse que durante este período se hace la evolución de los mamíferos placentarios que, representados al principio por formas escasas y primitivas, se diferencian dando lugar a una fauna rica y mucho más variada que la que se observa en la actualidad. Comprende esta era los períodos Eoceno, Oligoceno, Mioceno y Plioceno.

ERA CUATERNARIA

Los depósitos marinos de esta era no son en general conocidos, pues coincidiendo los mares casi completamente con su emplazamiento actual, no son asequibles a nuestra observación. La fauna continental nos es conocida por los restos que encierran los aluviones fluviales y glaciares, las cavernas y las turberas.

El comienzo de la era cuaternaria fué marcado por una importante invasión glacial, cuya causa es muy discutida, y en la que se distinguen cuatro glaciaciones de las cuales la segunda fué la más acentuada. La Escandinavia, Inglaterra, parte norte de Alemania y la mitad septentrional de Rusia, no eran más que un inmenso glaciar como lo son ahora las regiones polares, y en la Europa meridional tuvieron un desarrollo análogo al que hoy día ofrece en los Pirineos. Un último cambio climatológico produjo la fusión de los glaciares, reduciéndolo a su estado actual y provocando desastrosas inundaciones que originaron grandes formaciones detríticas que debieron dar lugar al tradicional Diluvio.

La fauna cuaternaria es análoga a la actual; merecen citarse dos clases de elefantes, el *Elephas antiquus* y el *E. meridionalis*, propios del clima cálido. y el *E. primigenius* o *mammut*, glacial, provisto de dos enormes defensas encorvadas hacia arriba; tres especies de rinocerontes, entre ellas *Rhinoceros tichorhinus* o de narices tabicadas; el *Cervus megaceros*, de enormes cuernos, bisontes, osos, renos, leo-

nes, hienas y otros mamíferos análogos a los actuales. Es curiosa la existencia en el periodo glacial de animales de los climas cálidos, pero adaptados al frío, como demuestra el hallazgo del mammut en los hielos de Siberia, perfectamente



Fig. 124.

te conservado, y gracias a lo cual se ha podido ver que poseía un espeso pelaje que le abrigaba.

Ciertas regiones presentaban ya en el cuaternario una fauna especial, tales como Madagascar y Nueva Zelanda, donde vivían aves gigantes de cuatro metros de altura y no voladoras, como el *Dinornis* y el *Aepyornis*, cuyos huevos tenían 8 litros de capacidad. Algunas como el *Dodo ineptus*, de la isla de San Mauricio, han vivido hasta fines del siglo xvii. La fauna cuaternaria de la América del Sur es notable por sus curiosos desdentados, como el *Glyptodon*, (fig. 124) tatuejo gigante, y el *Megatherium*, de gran talla. Por último, la Australia no posee placentarios, pero los marsupiales ofrecen, como hoy día, formas variadísimas.

En España, los mantos de diluvium se extienden a ambos lados de la Carpeto-Vetónica, donde se han hallado especies fósiles interesantes, y una gran parte de la provincia de León.

El hombre fósil.

Antigüedad del hombre.—Los primeros hallazgos de indicios humanos fósiles, hechos por Boucher de Perthes, fueron acogidos con incredulidad por Cuvier y otros sabios; pero hoy está completamente probado que la especie humana existe desde el cuaternario, y que por la tanto el hombre fué contemporáneo del *E. antiquus*, del mammut, del reno y del oso de las cavernas, de los que nos ha dejado dibujos; que sufrió los frios de la última época glacial y que fué testigo de las inundaciones porque el recuerdo de la catástrofe ha llegado a nosotros por tradición, y porque sus restos se encuentran en los Diluvium.

Ciertos paleontólogos admiten la existencia del hombre terciario, fundándose en que se han hallado pedernales que parecen tallados por él en terrenos reputados como terciarios. pero la tosquedad de estos objetos (*eolitos*) no permite considerarlos de factura humana.

Hasta el presente no tenemos ningún dato positivo de la existencia del hombre terciario; pues un cráneo encontrado en Java, y que ha sido mirado por algunos como de un hombre primitivo, y por otros como un simio antropomorfo (*Pithecantropus erectus*), ha sido hallado en depósitos que, aunque fueron antes considerados como del plioceno superior, son muy posiblemente cuaternarios.

Del cuaternario datan los más antiguos restos de esqueletos humanos encontrados, como los de Heidelberg, el de Neandertal, entre Düsserdolf y Elberfeld, y los cráneos de La Chapelle-aux-Saints (*Correze*) y de Cro-Magnon (Dordogne), hallados en los depósitos cuaternarios mezclados con huesos de elefantes, rinocerontes y osos, acompañados de hachas, cuchillos, agujas, flechas, arpones y otros instrumentos, tallados más o menos groseramente en piedra, hueso, marfil, cuerno, etc. También se encuentran estos restos en

antiguas cuevas naturales, que fueron el primer refugio del hombre prehistórico.

Razas humanas.—La de Neandertal presenta grandes caracteres de inferioridad; el cráneo es prognato, la frente estrecha, las piernas torcidas y las inserciones musculares muy manifiestas, como de hombre muy vigoroso, y probablemente más trepador que corredor; restos españoles de este tipo son el cráneo encontrado en 1848 en Gibraltar y la mandíbula de Bañolas (Gerona). La de Cro-Magnon es sin duda más inteligente y completamente adaptada a la estación bípeda; el cráneo más voluminoso, la frente muy saliente y los miembros posteriores rectos.

Los restos humanos cuaternarios escasean, por lo que no es posible establecer con ellos las divisiones de los tiempos prehistóricos. Afortunadamente, los restos de su industria abundan y sobre ellos se basa la división de los tiempos cuaternarios en tres épocas; la de la piedra tallada, la de la piedra pulimentada y la de los metales. Este criterio, aunque bueno para dar idea de los progresos de la civilización cuaternaria, tiene el inconveniente de no prestarse bien a establecer el sincronismo de los depósitos, porque ciertas razas han progresado mucho más de prisa que otras, y así, mientras España estaba en el período de la piedra pulimentada, brillaba ya en Egipto la civilización faraónica, y aun hoy día, al lado de la civilización europea, las razas africanas desconocen el empleo de los metales.

Epoca paleolítica o de la piedra tallada.—Esta época, así llamada por utilizar el hombre utensilios fabricados de sílex, (fig. 125) aprovechando su fractura concoidea, comprende diversas fases: en la primera los instrumentos se encuentran en los aluviones, mezclados con huesos de elefantes y rinocerontes, y consisten en pedernales en forma de almendra, groseros y mal tallados, con los que es imposible pudiera atacar a tan grandes animales. El hombre de esta época era nómada, habitaba en familias sin formar sociedades

numerosas, porque sus utensilios se encuentran diseminados y nunca asociados formando estaciones prehistoricas. El hallarse sus restos en los aluviones, demuestra que habitaba en las proximidades de los ríos, en cuyas fértiles riberas



Fig. 125.

hallaba alimento abundante y refugio contra los animales feroces trepando a los árboles.

Al sobrevenir los períodos glaciares, el frío y la falta de vegetación le obligaron a refugiarse en las cavernas, donde encuentra medios de defensa de los osos y hienas que abundaban. Obligado a un régimen carnívoro, el hombre se hace muy cazador e inventa los más variados utensilios, no sólo para la caza, sino para despedazar sus víctimas. Aunque llega a ser muy diestro para la talla del silex, empieza a renunciar

a él comprendiendo su poca valía para los delicados instrumentos que va necesitando, y el marfil, el hueso y el cuerno de reno y ciervo son las materias ahora preferidas.

La civilización de las cavernas se manifiesta, no sólo por la perfección con que el hombre llega a fabricar sus instrumentos, sino por el nacimiento del arte, que indica ya un avanzado estado de cultura, porque si la industria es hija de la necesidad, el arte lo es del sentimiento: teniendo por objeto el arte, despertar en otros un sentimiento propio, su nacimiento implica ya el primer rudimento de sociedad; las grutas fueron las primeras ciudades, y en efecto, en ellas se encuentran reunidos los objetos prehistóricos, a veces en gran número.

Se manifiesta primero el arte por el gusto a la simetría, y el hombre hace dibujos extraños de líneas; pero bien pronto intenta reproducir la naturaleza y especialmente los seres

que le interesan por serles útiles o dañinos. Se conocen objetos grabados y cuevas con interiores decorados con pinturas representando elefantes, caballos y bisontes.

Hasta hace poco sólo en el Sur de Francia, Norte y Este

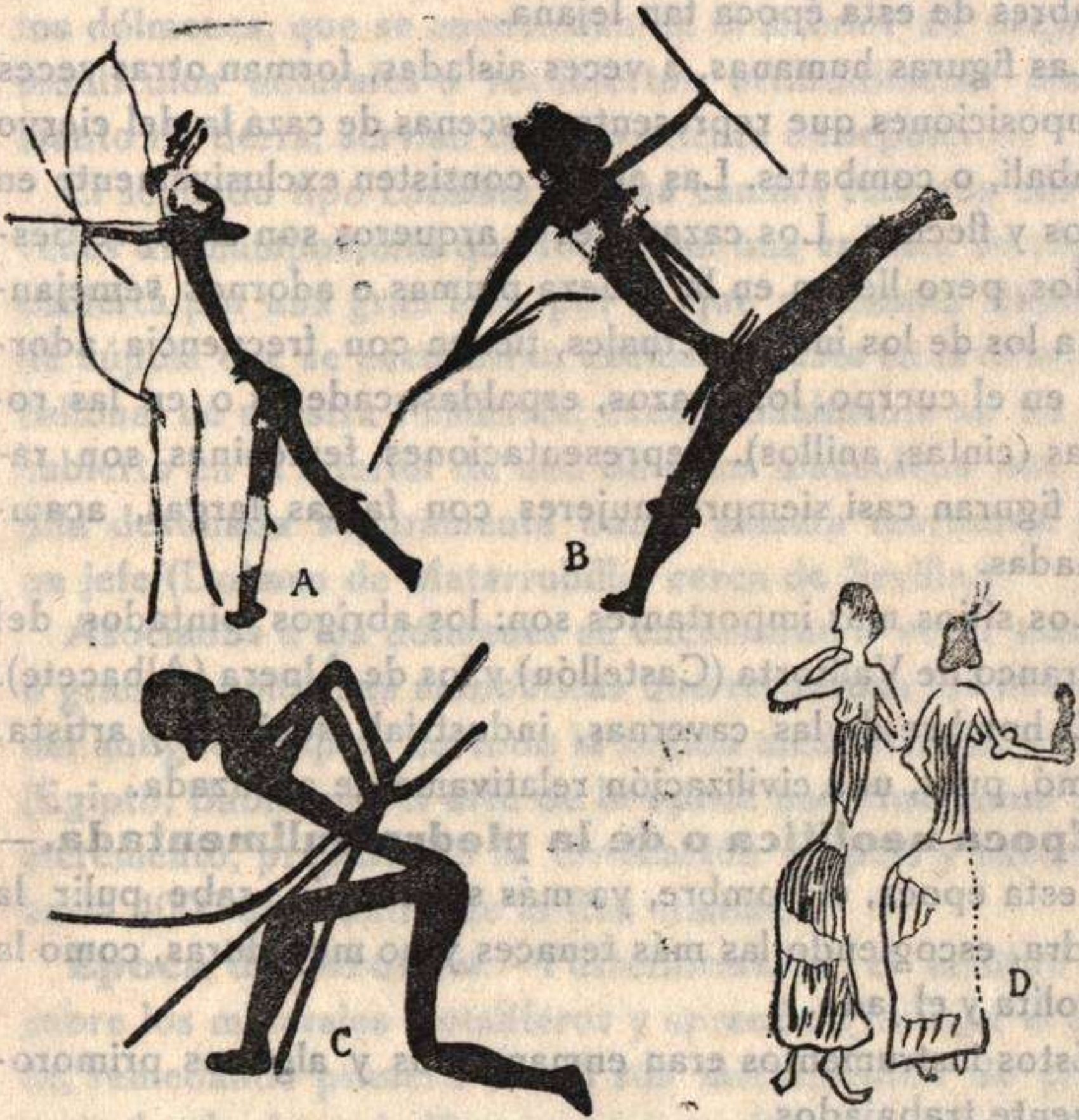


Fig. 126.

de España se han encontrado cuevas con dibujos parietales. En las grutas de Francia y de España septentrional se encuentran casi exclusivamente dibujos de animales, nunca verdaderas representaciones humanas. La cueva más hermosa de esta provincia es Altamira, cerca de Santander, decorada con notables dibujos de un contorno preciso y una gran sobriedad de líneas; siendo la nota saliente de ellos la naturalidad con que están representados los animales, lo que

indica un gran conocimiento de ellos por parte del artista, En cambio, los artistas de Levante, cuyos trabajos han sido recientemente descubiertos, representaban al lado de animales, con preferencia figuras humanas (fig. 126) que tienen un interés extraordinario para el estudio del traje y de las costumbres de esta época tan lejana.

Las figuras humanas, a veces aisladas, forman otras veces composiciones que representan escenas de caza la del ciervo o jabalí, o combates. Las armas consisten exclusivamente en arcos y flechas. Los cazadores o arqueros son siempre desnudos, pero llevan en la cabeza plumas o adornos semejantes a los de los indios actuales, tienen con frecuencia adornos en el cuerpo, los brazos, espaldas, caderas o en las rodillas (cintas, anillos). Representaciones femeninas son raras; figuran casi siempre mujeres con faldas largas, acampanadas.

Los sitios más importantes son: los abrigos pintados del Barranco de Valltorta (Castellón) y los de Alpera (Albacete).

El hombre de las cavernas, industrial, sociable y artista, formó, pues, una civilización relativamente avanzada.

Epoca neolítica o de la piedra pulimentada.— En esta época, el hombre, ya más sedentario, sabe pulir la piedra, escogiendo las más tenaces y no muy duras, como la fibrolita y el jade.

Estos instrumentos eran enmangados y algunos primorosamente trabajados.

De esta época data el descubrimiento de la cerámica de cocina, la domesticación de los animales y el cultivo del lino y de los cereales.

La arquitectura comienza también en esta época con la construcción de habitaciones lacustres de madera, llamadas *palafitos*, donde el hombre se aislaba con un puente levadizo, de una manera análoga a como lo hacen hoy día los salvajes de la Papuasía, y los llamados monumentos *megalíticos*, formados de enormes piedras sin labrar. Los más impor-

tantes son los *dolmen*, formados de dos filas de piedras verticales recubiertas por otras horizontales, que se presentan en dos tipos diferentes, el tipo más primitivo consiste en una cámara rectangular tosca, formada de dos piedras verticales sin labrar, recubiertas por un techo de losas toscas; estos dólmenes, que se encuentran en el interior de pequeños montículos naturales o recubiertos artificialmente por un manto de tierra, servían exclusivamente de sepulcros.

El segundo tipo consiste en una cámara redonda con paredes de mampostería que formaban una especie de cúpula, cubierta por una gran losa, por lo que se llaman dólmenes de cúpula que se encuentran exclusivamente en la mitad meridional de nuestra Península; excepcionalmente se ha descubierto en el interior de uno de estos mausoleos una gran pila destinada seguramente como cámara mortuoria para un jefe (Dolmen de Matarrubilla. cerca de Sevilla.)

Asociados a los dólmenes se encuentran a veces menhirs o grandes columnas monolíticas que recuerdan los obeliscos del antiguo Egipto. En toda la región mediterránea (Egipto, Babilonia) el arte de la época neolítica tomó gran incremento, preparando la civilización egipcia y babilónica hacia 4000 años antes de la Era cristiana.

Epoca del bronce.—Posteriormente, el hombre descubre los minerales metalíferos y aprende a trabajar el bronce, remedando primero con él sus instrumentos de piedra, pero dando después libre curso a su fantasía, produciendo armas, utensilios y adornos variadísimos, que se encuentran hoy en las sepulturas y ciudades lacustres asociados a piedras talladas,

El oro y el cobre, por presentarse en estado nativo, fueron los primeros metales conocidos; pero después el descubrimiento del estaño da la facilidad de trabajar el cobre bajo la forma de bronce, originando un gran progreso,

Se encuentran en Asturias y Andalucía vestigios de antiguas minas de cobre.

Donde más incremento tomó la civilización española de esta época fué en las islas Baleares, sin duda por su más inmediato contacto con la civilización oriental. En esta época fueron construídos sus curiosísimos monumentos megalíticos como los *taulas* formados por dos piedras en T, la superior a manera de mesa, y los *talayots*, torres de mampostería con una puerta.

Los chinos y los egipcios parece fueron los primeros en utilizar los metales, y su conocimiento fué probablemente importado a Europa diez siglos antes de nuestra Era,

Edad de hierro.—El bronce es, por último, sustituido por el hierro, metal de más difícil metalurgia, el desarrollo en la civilización es bien manifiesto por los perfeccionamientos en la confección de las armas.

De esta época data el descubrimiento del alfabeto, por lo que al comenzar el hombre a legar las ideas a sus descendientes, este período se confunde con los comienzos de la época histórica, en los cuales se constituía en España la civilización ibera en contacto con la celta por el Norte, la foscense en Levante y la fenicia y cartaginesa en el Sur.

La geografía del pasado.

PALEOGEOGRAFIA

Principio de la reconstitución de los antiguos continentes.—La Paleogeografía tiene por objeto el reconstituir la figura geográfica del Globo en los diversos períodos geológicos, o sea estudiar la evolución que han sufrido los continentes y los mares hasta llegar a su estado actual.

La reconstitución del dibujo de los antiguos continentes se basa en la distribución de las formaciones litorales, lo cual resulta dificultoso, porque muchas han desaparecido por erosión y otras están ocultas por sedimentos posterior-

res, Se deben a Lapparent mapas sobre la distribución de los continentes en los diferentes períodos geológicos.

La atención de los geólogos se dirige actualmente, más que a fijar los antiguos perfiles costeros, muy variables por las frecuentes transgresiones y regresiones marinas, a localizar las antiguas cadenas de plegamiento (geoanticlinales) y las fosas marinas de gran sedimentación batial (geosinclinales), debiéndose a Suess datos muy concretos acerca de este asunto.

Plegamientos de la época primaria.—Aunque muy difícil de fijar aún a grandes trazos los continentes de tan antiguas épocas, se conocen algunos hechos generales. Parece ser que hubo un período de plegamientos precámbricos, cuyas trazas son particularmente claras en el Canadá septentrional, por lo que se ha llamado plegamiento huroniano el que formó estas tierras boreales que poseyeron un intenso volcanismo.

Es probable que un período glacial marcara los comienzos de la época primaria, y al fin del silúrico nuevos plegamientos llamados caledonianos porque afectaron a la Escocia, antigua Caledonia, y en el antracolítico, hercinianos del Harz, porque interesaron a Alemania, van acrecentando hacia el Sur, por la adición de cadenas montañosas, los continentes boreales del arcaico.

En el período azoico se dibujaron en el hemisferio boreal tres masas continentales: la algonkiense (Canadá), la escandinava y la siberiana, mientras por debajo existía un anillo marítimo que entre ellos se insinuaba. Por el contrario, en el hemisferio Sur, las tierras estaban soldadas, formando un anillo continuo.

Areas continentales de la era secundaria.—Constituída así la Tierra en la época primaria, subsiste en la secundaria, en la que no hubo grandes movimientos orogénicos y sólo débiles levantamientos y hundimientos que produjeron transgresiones marinas, con inundación de tierras

bajas, y regresiones que dejaron al descubierto bajos fondos. Una profunda fosa denominada Tethys formaba un mediterráneo entre las tierras boreales y australes del golfo de Méjico, hasta Nueva Zelanda, pasando por el Mediterráneo actual, la Persia, la India, la Indochina y Nueva Guinea, y otra dividiendo el anillo continental austral en un continente africano, brasileño, y otro austro-indo-malgache. Parece probable la existencia de un continente pacífico y la soldadura de la tierra algonkiense y escandinava en un continente llamado Nortatlántico.

Plegamientos alpinos del terciario.—La actividad orogénica del Globo, que parecía dormida durante la época secundaria, se reproduce en una gran intensidad en el mioceno; dejando al descubierto y elevando hasta alturas de 9.000 metros los sedimentos acumulados en el fondo del profundo Tethys, formando cordilleras arqueadas en festones y guirnaldas, que siendo las más modernas y habiendo tenido por esto menos tiempo de destruirlas la erosión, son las mejor conservadas y las que con ligeros retoques han formado el dibujo geográfico tal como hoy está; al mismo tiempo, las antiguas masas continentales se fraccionan y determinan la explosión del volcanismo, tan intenso en la época terciaria. La Australia, la India y Madagascar, quedan separados por el fraccionamiento de su continente; la Europa se separa de América de Norte, y el Brasil de Africa, mientras que el brazo de mar que separaba la tierra escandinava y la siberiana, aislado por los plegamientos alpinos que originaron los Pirineos, los Alpes, los Cárpatos, el Tauro, el Altay y el Himalaya, se convierten en lagos desalados, cuyos restos son el Aral, el Caspio y el Mar Negro; pero su parte inferior, que hoy forma el Mediterráneo oriental, se rejuvenece al comunicar con el Océano por el hundimiento y rotura del arco que enlaza nuestra cordillera Bética con el Riff marroquí.

Acontecimientos geográficos del cuaternario.

Parece ser que después de cada fase de actividad orogénica sobrevino una época de glaciario; pero la más indudable y conocida, por haber dejado trazas más recientes, es la que sobrevino en los comienzos del cuaternario a continuación de los grandiosos plegamientos alpinos. Las trazas de este glaciario son bien manifiestas en el Norte de Europa y América, y en las montañas de todos los países, y fué seguido de un período de desecación que produjo los actuales desiertos.

¿Han acabado en la época actual las transformaciones geográficas? Sin duda, no; mas unas veces son tan lentas, que sus resultados no son apreciables sino en muy largos períodos históricos, cuya duración es insignificante al lado de los geológicos, y otros violentos se suceden en intervalos muy espaciados; la periodicidad de los acontecimientos geológicos permite presumir que, terminado el período de calma y desecación que hoy continúa, reaparecerán nuevas convulsiones orogénicas seguidas de glaciario. Plegamientos violentos, originadores de montañas, seguidos de glaciario, inundaciones y cambio de clima, tendiendo a la sequedad, se han repetido en este orden en la historia del Globo, formando grandiosos ciclos. No hay razón sin embargo, para temerlos, porque un interregno tan enorme los separa, que no la vida de un hombre, sino la humanidad entera, no es nada con ellos comparada. El hombre no ha presenciado todavía una época de plegamiento, y sólo un glaciario y un diluvio sufrió en un período históricamente muy alejado pero geológicamente recientísimo.

Por otra parte, la vida del Globo va paulatinamente extinguiéndose, y la intensidad de sus fenómenos amortiguándose.

La geología española.—La primera tierra española la formaron plegamientos antiguos, y constituyó en su origen un triángulo cuyos vértices actuales son los cabos Finis-

erre, San Vicente y San Antonio, que, transformado por la erosión en peniplana, constituye hoy una gran meseta de 660 metros de altura media. Esta meseta impuso por su resistencia un límite occidental a los plegamientos terciarios, que agrandaron su dominio con las soldaduras de la grandiosa cordillera Bética y con el levantamiento del Pirineo y soldadura de la fosa tectónica del Ebro, exhondada.

La meseta constituye el firme de la edificación peninsular, de cuya superficie la mitad pertenece a ella. Forma una altiplanicie inclinada dulcemente hacia Occidente y Sur, circundada por doquier de orlas montañosas de pendiente suave hacia ella, pero que se unden bruscamente en la vertiente opuesta. El macizo granítico y gnéisico de la Carpeto bética, *columna vertebral de la península*, según la expresión de Macpherson, la segmenta en dos submesetas de nivel distinto, y a ambos lados de ella se extienden capas horizontales del mioceno lacustre y del diluvial que ocultan en la región central los pliegues desmantelados de los terrenos de transición. La submeseta superior forma la cuenca del Duero, y la inferior las del Tajo y Guadiana.

El lado atlántico de la meseta ha sido regularizado por la adición de sedimentos posteriores excepto en la parte superior donde se dibujan las rías gallegas, y en él terminan por estuarios continuados por valles sumergidos los ríos de la meseta (Miño, Duero, Tajo), que corren con una dirección de Este a Oeste. Los otros dos lados del triángulo forman la divisoria del Ebro y el Guadalquivir. El primero tiene una cuenca cerrada por todas partes, de la que sale franqueando la cordillera catalana por una garganta sinuosa y escarpada. En el mioceno extensos lagos ocupaban Aragón, habiéndose dejado recubierto de sedimentos lacustres de esta época. Análogos lagos cubrían el mioceno ambas Castillas, y sus sedimentos descansan sobre los terrenos primarios, muy dislocados y denudados. El Guadalquivir ocupa el lugar del antiguo estrecho bético, que hacía comunicar el

Atlántico y el Mediterráneo, transformado después en anchuroso golfo plioceno que el Guadalquivir ha rellenado con sus aluviones, pero del cual es todavía un vestigio el actual golfo de Cádiz. En la vertiente oriental de los plegamientos terciarios del sistema ibérico adosado a la meseta, el acarreo de materiales a originado las feraces planas de la costa valenciana.

La campiña andaluza está separada de la meseta por un brusco escalón que se prolonga hasta el Algarbe, que, a pesar del nombre de Sierra Morena, no tiene nada de común con una sierra, pues es sencillamente una gran falla que limita por el Sur la meseta ibérica. Un enorme plegamiento de las capa acaecido en el terciario, con altura de 3.500 m., se levanta al Sur de la campiña andaluza, formando la cordillera Bética o Sierra Nevada, que extendía desde Cerdeña, por las Baleares, al Sur de la meseta, encorbándose bruscamente para articularse con el Riff marroquí. Dislocaciones posteriores han fracturado esta gigantesca cadena, seccionando las Baleares, que han quedado alineadas con ella, y un hundimiento ha separado en el plioceno España de África, abriéndose la comunicación de los dos mares por el estrecho de Gibraltar.

España es un país de clima subtropical con tendencia a pasar por un lado, al clima desértico; por otro, al templado, frío y nebuloso.

La meseta ofrece, por su carácter continental y su atmósfera despejada, veranos muy calurosos, especialmente en la submeseta meridional; inviernos fríos y prolongados, en particular en la septentrional y más especialmente en su orla montañosa. En las costas cantábrica y atlántica la variación anual y diurna es mucho menos acentuada, por su régimen marítimo; la media anual más elevada, especialmente en las segundas, y la pluviosidad muy grande (salvo en la parte meridional), particularmente acentuada en la región NO., mientras que la meseta, la cuenca del Ebro y las costas le-

vantinas tiene una fisonomía esteparia por la falta de lluvias, debido a que éstas en nuestra península son originadas por ciclones que se propagan hacia el Este; pero en las últimas costas la irrigación hace prodigios, convirtiendo en vergeles los desiertos que resultan de su régimen seco por los vientos africanos y ponientes también secos después de atravesar la meseta. La cuenca del Ebro tiene un régimen análogo a la meseta, es decir, tendencia a convertirse durante el invierno en islotes de frío y durante el verano de calor. En cuanto a la depresión bética, posee un carácter mixto de continental y marítimo por no estar cerrada por murallas que la defiendan de los vientos marinos, siendo también la región de España donde se observan más fuertes temperaturas. La Andalucía montañosa ofrece una serie de climas, desde los polares alpinos a los subtropicales de la costa.

Caracteriza en general a la red fluvial española, la gran pendiente de sus ríos y la irregularidad de su cauce que, sometido a un aumento en los equinoccios, en cuya época tiene lugar la mayor cantidad de precipitaciones y el aumento por derretimiento de nieves en las cabeceras montañosas de los ríos, sufren gran mengua en el estiaje, durante el cual quedan convertidos en riachuelos los que antes fueron ríos relativamente caudalosos, y aun en ramblas y torrenteras con el cauce completamente seco.

Los ríos de la meseta tienen todos una dirección generalmente paralela corriendo hacia Sudoeste, y se establecieron con la desaparición del régimen lagunar del mioceno, El Ebro y el Guadalquivir son desagües de las depresiones bética y aragonesa. Sobre la base de la distribución de la red fluvial primitiva impuesta por la tectónica peninsular, la erosión ha modelado grandes variantes; así, los ríos mediterráneos, de mayor potencia erosiva que los atlánticos por su menor recorrido a igualdad de desnivel, han empujado hacia el interior su cabecera, capturando cursos afluentes de la

parte superior de la meseta que conservan todavía la dirección hacia los ríos de que antes fueron tributarios (Cabriel, Alto Júcar), y han dado lugar al carácter de indeterminación en la dirección de las aguas de la cabecera del Guadiana en los páramos manchegos. El Guadalquivir, por medio de sus afluentes de la derecha ha capturado gran parte de los viejos tributarios del Guadiana.

El gran relieve de nuestra península, el país más montañoso de Europa, después de Suiza, ha impuesto a nuestros ríos un régimen torrencial que les hace tan poco favorables a la navegación como preciosos para su utilización como fuerza motriz. Su erosión es muy activa, aunque no faltan ríos, como el Guadalquivir, que ofrecen bien márcados los caracteres de la senilidad, por lo que ha sido posible y a poca costa hacerle navegable. Su perfil de equilibrio ya logrado se acusa en su curso lento meandrinoso y divagante, en su regularizado cauce, en sus bifurcaciones en vastas planicies aluviales.

El rejuvenecimiento de la red hidrográfica por los movimientos epirogéticos es causa de que no sean los ríos seniles los más antiguos, y así los ríos juveniles gallegos son los más antiguos de la Península, aunque rejuvenecidos por los hundimientos que, sumergiendo su cauce inferior, ha levantado su nivel de base.

F I N

punto superior de la mancha por consiguiente todas las órdenes
 con las que los ríos de las zonas tropicales (Caribe)
 A las órdenes y han dado lugar al carácter de indumentación
 en la dirección de las aguas de la zona del Cardenal
 los ríos más anchos El Cardenal por medio de las
 afluentes de la zona del Cardenal
 por tributarios del Cardenal
 El gran efecto de estas corrientes de agua más anchas
 en el tiempo después de haberse formado en ríos
 con anchuras variables por las que se han formado
 a la navegación como puentes para su utilización como
 las más anchas de origen en muy pocas aguas no están
 con el Cardenal que ofrece una anchura de
 ríos de la zona del Cardenal por lo que ha sido posible y a
 por esta parte hacia el sur. En parte de equilibrio ya lo
 grado de agua en su curso lento y desigual y desigual
 en su anchura como en las distancias en estas pla-
 zas anchas.
 El rejuvenecimiento de la red hidrográfica por los ríos
 ríos epigénicos es causa de que no sean los ríos semi-
 los más anchos y así los ríos jóvenes y jóvenes son los
 más anchos de la Península aunque rejuvenecidos por los
 rejuvenecidos que surgiendo en cauce inferior, ha levantado
 todo su nivel de base.

Í N D I C E

CONTENIDO	
PRIMERA PARTE	
SEGUNDA PARTE	
TERCERA PARTE	
CUARTA PARTE	
QUINTA PARTE	
SEXTA PARTE	
SEPTIMA PARTE	
OCTAVA PARTE	
NOVENA PARTE	
DÉCIMA PARTE	
ONCEAVIA PARTE	
DOCEAVIA PARTE	
TRECEAVIA PARTE	
CATORCEAVIA PARTE	
QUINCEAVIA PARTE	
DIECISENTEAVIA PARTE	
DIECISENTE Y UNA PARTE	
DIECISENTE Y DOS PARTE	
DIECISENTE Y TRES PARTE	
DIECISENTE Y CUATRO PARTE	
DIECISENTE Y CINCO PARTE	
DIECISENTE Y SEIS PARTE	
DIECISENTE Y SIETE PARTE	
DIECISENTE Y OCHO PARTE	
DIECISENTE Y NUEVE PARTE	
DIECISENTE Y DIEZ PARTE	
DIECISENTE Y once PARTE	
DIECISENTE Y doce PARTE	
DIECISENTE Y trece PARTE	
DIECISENTE Y catorce PARTE	
DIECISENTE Y quince PARTE	
DIECISENTE Y dieciséis PARTE	
DIECISENTE Y diecisiete PARTE	
DIECISENTE Y dieciocho PARTE	
DIECISENTE Y diecinueve PARTE	
DIECISENTE Y veinte PARTE	
DIECISENTE Y veintiuna PARTE	
DIECISENTE Y veintidós PARTE	
DIECISENTE Y veintitrés PARTE	
DIECISENTE Y veinticuatro PARTE	
DIECISENTE Y veinticinco PARTE	
DIECISENTE Y veintiseis PARTE	
DIECISENTE Y veintisiete PARTE	
DIECISENTE Y veintiocho PARTE	
DIECISENTE Y veininueve PARTE	
DIECISENTE Y treinta PARTE	
DIECISENTE Y treinta y una PARTE	
DIECISENTE Y treinta y dos PARTE	
DIECISENTE Y treinta y tres PARTE	
DIECISENTE Y treinta y cuatro PARTE	
DIECISENTE Y treinta y cinco PARTE	
DIECISENTE Y treinta y seis PARTE	
DIECISENTE Y treinta y siete PARTE	
DIECISENTE Y treinta y ocho PARTE	
DIECISENTE Y treinta y nueve PARTE	
DIECISENTE Y cuarenta PARTE	
DIECISENTE Y cuarenta y una PARTE	
DIECISENTE Y cuarenta y dos PARTE	
DIECISENTE Y cuarenta y tres PARTE	
DIECISENTE Y cuarenta y cuatro PARTE	
DIECISENTE Y cuarenta y cinco PARTE	
DIECISENTE Y cuarenta y seis PARTE	
DIECISENTE Y cuarenta y siete PARTE	
DIECISENTE Y cuarenta y ocho PARTE	
DIECISENTE Y cuarenta y nueve PARTE	
DIECISENTE Y cincuenta PARTE	
DIECISENTE Y cincuenta y una PARTE	
DIECISENTE Y cincuenta y dos PARTE	
DIECISENTE Y cincuenta y tres PARTE	
DIECISENTE Y cincuenta y cuatro PARTE	
DIECISENTE Y cincuenta y cinco PARTE	
DIECISENTE Y cincuenta y seis PARTE	
DIECISENTE Y cincuenta y siete PARTE	
DIECISENTE Y cincuenta y ocho PARTE	
DIECISENTE Y cincuenta y nueve PARTE	
DIECISENTE Y sesenta PARTE	
DIECISENTE Y sesenta y una PARTE	
DIECISENTE Y sesenta y dos PARTE	
DIECISENTE Y sesenta y tres PARTE	
DIECISENTE Y sesenta y cuatro PARTE	
DIECISENTE Y sesenta y cinco PARTE	
DIECISENTE Y sesenta y seis PARTE	
DIECISENTE Y sesenta y siete PARTE	
DIECISENTE Y sesenta y ocho PARTE	
DIECISENTE Y sesenta y nueve PARTE	
DIECISENTE Y setenta PARTE	
DIECISENTE Y setenta y una PARTE	
DIECISENTE Y setenta y dos PARTE	
DIECISENTE Y setenta y tres PARTE	
DIECISENTE Y setenta y cuatro PARTE	
DIECISENTE Y setenta y cinco PARTE	
DIECISENTE Y setenta y seis PARTE	
DIECISENTE Y setenta y siete PARTE	
DIECISENTE Y setenta y ocho PARTE	
DIECISENTE Y setenta y nueve PARTE	
DIECISENTE Y ochenta PARTE	
DIECISENTE Y ochenta y una PARTE	
DIECISENTE Y ochenta y dos PARTE	
DIECISENTE Y ochenta y tres PARTE	
DIECISENTE Y ochenta y cuatro PARTE	
DIECISENTE Y ochenta y cinco PARTE	
DIECISENTE Y ochenta y seis PARTE	
DIECISENTE Y ochenta y siete PARTE	
DIECISENTE Y ochenta y ocho PARTE	
DIECISENTE Y ochenta y nueve PARTE	
DIECISENTE Y noventa PARTE	
DIECISENTE Y noventa y una PARTE	
DIECISENTE Y noventa y dos PARTE	
DIECISENTE Y noventa y tres PARTE	
DIECISENTE Y noventa y cuatro PARTE	
DIECISENTE Y noventa y cinco PARTE	
DIECISENTE Y noventa y seis PARTE	
DIECISENTE Y noventa y siete PARTE	
DIECISENTE Y noventa y ocho PARTE	
DIECISENTE Y noventa y nueve PARTE	
DIECISENTE Y cien PARTE	

I N D I C E

I N D I C E

GEOGNOSIA

MINERALOGÍA

MINERALOGÍA GENERAL.—Cristalografía geométrica..	8
Cristalografía física.	39
Caracteres químicos de los minerales.	51
MINEROGRAFÍA.	66
Clase I.—Elementos.	67
Clase II.—Haloides.	71
Clase III.—Lampritos.	74
Clase IV.—Oxidos	82
Clase V.—Sulfatoides.	95
Clase VI.—Nitroides.	99
Clase VII.—Silicoides.	102
Clase VIII.—Carbonados.	114
LITOLOGÍA.—Los caracteres de las rocas..	123
La descripción de las rocas..	127

FISIOGRAFÍA

Configuración general del Globo..	133
---	-----

GEODINÁMICA

El ciclo de los fenómenos geológicos	163
La formación de los sedimentos.	164
La edificación de las montañas.	170
La demolición del relieve	189
La formación del modelado topográfico.	199

GEOGENIA

Geogenia.	206
Los períodos geológicos.	210
El hombre fósil.	220
La geografía del pasado.	226

INDICE

GEOGNOSIA

MINERALOGIA

8	Mineralogía general.—Características geológicas.
29	Mineralogía de España.
31	Mineralogía de las montañas.
36	Mineralogía.
37	Clase I.—Elementos.
75	Clase II.—Halóidos.
78	Clase III.—Sulfuros.
81	Clase IV.—Óxidos.
86	Clase V.—Sulfatos.
89	Clase VI.—Nitruros.
103	Clase VII.—Silicatos.
114	Clase VIII.—Carbonatos.
122	Mineralogía.—Las características de las rocas.
127	Las características de las rocas.

FISIOGRAFÍA

132	Geografía general del Estado.
-----	-------------------------------

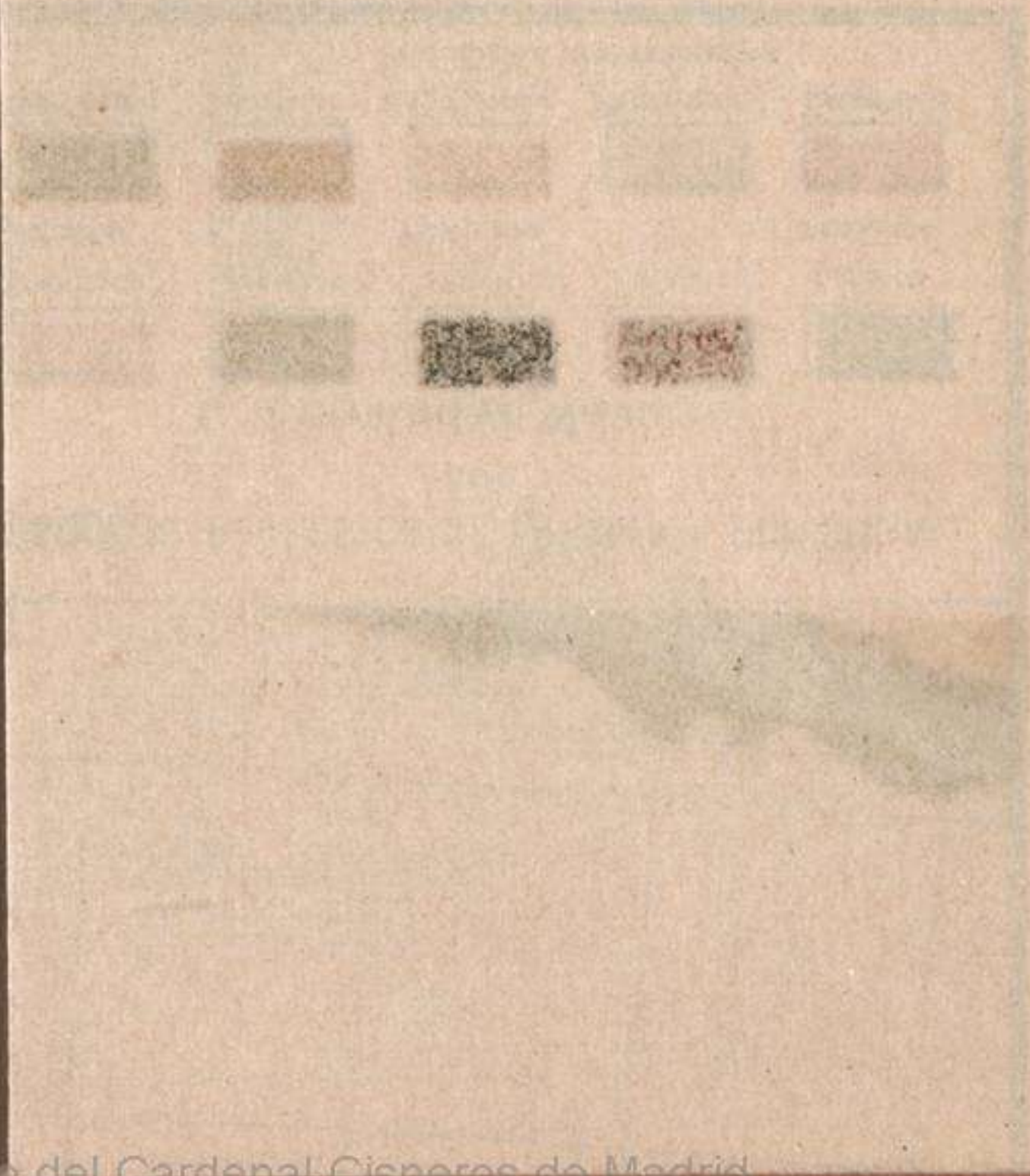
GEO DINÁMICA

138	El ciclo de los fenómenos geológicos.
164	La formación de los sedimentos.
170	La erosión de las masas.
182	La modificación del relieve.
188	La formación del modo de relieve.

GEOGENIA

200	Geología.
205	Las grandes geológicas.
210	El hombre fósil.
204	La geología del pasado.

C.

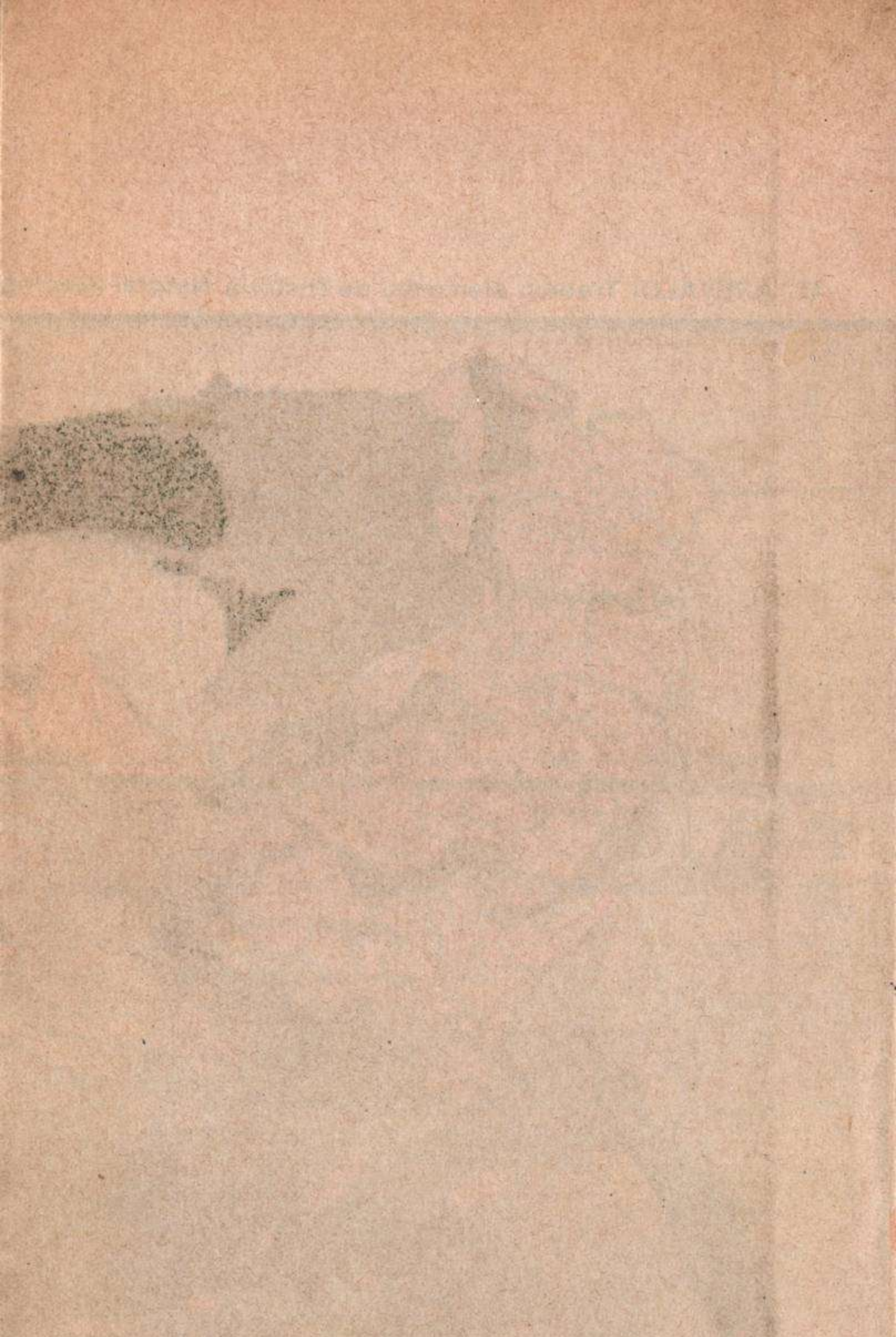


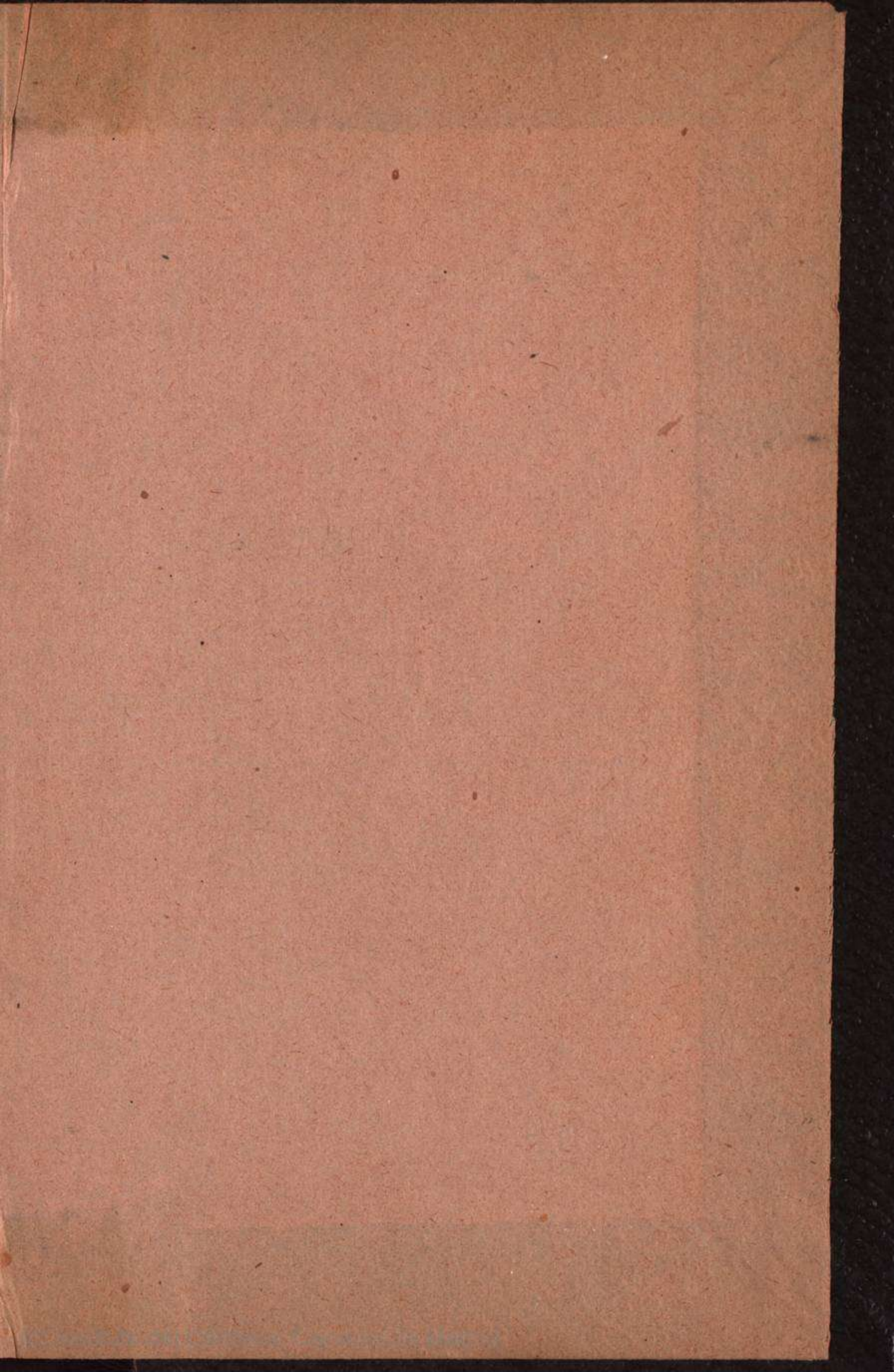


ISLAS CANARIAS.
PALMA
S^{ta} CRUZ
TENEFERÍA
COFINA
HIJERO
LANZAROTE
FUERTEVENTURA
GRAN CANARIA
GIBRALTAR

Benítez Mellado, delineó.

TIP. Y LIT. RODRÍGUEZ DE LLANO. BOMBÓ, 2





C. ARRIVABATO

GEOLOGIA

ARDENAL CISNER

T23-92

FONDO ANTIGUO

S. XIX-XX

del