

Siempre se cita como ejemplo de la porosidad de los metales el famoso experimento de los sabios florentinos de la Academia del *Cimento*. Este experimento, hecho en 1661, tenía por objeto averiguar si el agua es compresible, y consistía en llenar de este líquido una esfera hueca de plata, herméticamente cerrada con un tapón de tornillo, y en ejercer después sobre su superficie una presión bastante fuerte para deformarla, y por consiguiente para reducir su volumen (1). Los académicos observaron que el líquido se rezumaba al través del metal y se depositaba en forma de rocío en la superficie de la esfera. Desde entonces se ha repetido muchas veces este experimento con varios metales, con esferas de oro, de cobre, etc., y siempre con el mismo resultado. Sin embargo, se ha adquirido la certidumbre de que el líquido no pasa por los poros de

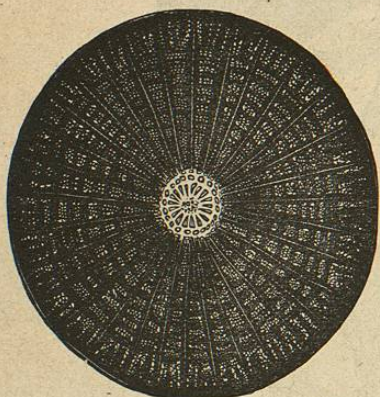


Fig. 13.—Celdillas de una diátomea (100 diámetros)

la cubierta sólida, sino por grietas ó hendeduras imperceptibles, causadas por la fuerza de la presión.

En todo caso, aquí se trataría tan sólo de la permeabilidad de la materia, y no de la porosidad intermolecular de la que vamos á ocuparnos. También es cierto que no todos los cuerpos poseen la propiedad de ser permeables á los fluidos, á lo menos dadas las condiciones de experimentación en que han podido colocarse hasta ahora los físicos, lo cual es una ventaja. Si el cristal no disfrutara, por ejemplo, de esa perfecta impermeabilidad, si no resistiera hasta romperse todas las presiones ejercidas en su superficie por los fluidos ó los gases que se encierran en los objetos fabricados con él, habría sido imposible de todo punto hacer un gran

número de experimentos físicos y la mayor parte de los químicos. La ciencia estaría todavía en su infancia.

Así pues, la estructura porosa de la mayoría de los cuerpos resulta de los hechos que acabamos de enumerar. Casi todos ellos están acribillados de una infinidad de vacíos, de agujeritos, unos visibles á la simple vista, otros solamente con el microscopio, y, por último, otros imperceptibles. De aquí se sigue que, en condiciones de presión á propósito, los cuerpos de que se trata son permeables á los líquidos y á los gases. Algunos otros, como los metales, las sustancias cristalinas ó vítreas y sobre todo el vidrio, no son permeables. Comprendida, pues, de este modo la porosidad, se ve que no es una propiedad general, universal de los cuerpos.

No sucede lo propio con la *porosidad intermolecular*, por la cual se entiende los intervalos que separan entre sí á las últimas ó más diminutas moléculas de los cuerpos, ó los átomos, si se trata de cuerpos químicamente simples. En los cuerpos porosos de que hemos hablado anteriormente, los vacíos ó poros separan partículas más ó menos pequeñas de materia, pero estas partículas están formadas todavía por la agregación de innumerables moléculas. ¿Están éstas contiguas, se tocan, ó bien se hallan situadas á cierta distancia unas de otras? Esta cuestión está todavía por resolver, entendiéndose lo mismo de las moléculas de los cuerpos permeables á los fluidos que de las de los cuerpos que tenemos por impermeables.

Pues bien, todo prueba que esta porosidad intermolecular existe en todos los cuer-

(1) La esfera es, entre los sólidos de superficie igual, el que tiene mayor volumen.

pos, así en los sólidos y en los líquidos como en los gases. ¿Cómo se demuestra la realidad de esta afirmación? No ya por medio de experimentos directos, como hemos podido hacerlo para demostrar la porosidad común ó permeabilidad, sino en virtud de experimentos que la implican necesariamente.

VII

DILATABILIDAD DE LOS CUERPOS

Hay una propiedad común á todos los cuerpos, la de cambiar de volumen siempre que su temperatura varía: si ésta aumenta, el volumen crece, el cuerpo se dilata; si, por el contrario, disminuye, el volumen disminuye también y el cuerpo se contrae. Es un fenómeno comprobado respecto de los sólidos, los líquidos y los gases, y que no admite excepción, á no ser cuando se trata de temperaturas en que ciertos cuerpos cambian de estado físico, pues en este caso puede suceder que, en virtud de la influencia de las modificaciones que dichos cambios introducen en la disposición molecular, haya contracción en vez de dilatación ó viceversa: nadie ignora que el agua enfriada á menos de + 4 centígrados se dilata hasta 0 grados, punto de su congelación. Sea de ello lo que fuere, lo cierto es que estos fenómenos ponen en evidencia que el volumen de los cuerpos es esencialmente variable, siendo por lo tanto necesario admitir que la materia de que están formados no es continua, que las moléculas ó átomos no se tocan en ellos; y ya hemos visto que este es un hecho positivo respecto de un gran número de cuerpos que son porosos, ó si se quiere, permeables á los fluidos, á los líquidos y á los gases; pero esto no deja de ser evidente también acerca de los que carecen de esta permeabilidad, por cuanto experimentan lo mismo que los otros esos fenómenos de dilatación y de contracción que serían inexplicables en la hipótesis de la continuidad absoluta de la materia.

La *contractilidad* consiste en la propiedad que tienen los cuerpos de disminuir de volumen á causa de algún descenso de temperatura; pero lo propio sucede también cuando se los somete á un aumento de presión exterior, sólo que en este caso dicese que hay *compresibilidad*. Por lo demás, la compresibilidad y la contractilidad varían mucho de un cuerpo á otro, y también en un mismo cuerpo, según su estado físico. Por ejemplo, los gases disminuyen la 273.^a parte de su volumen á cada grado de enfriamiento; la contracción del mercurio líquido, en el propio caso, no es más que la 5,550.^a parte de su volumen, y en el cobre en estado sólido es tan sólo la 20,000.^a. Aquí anticipamos sólo ejemplos aislados, pues en su lugar oportuno describiremos y estudiaremos todos estos fenómenos.

Por ahora nos proponemos únicamente dar una idea preliminar de la estructura de los cuerpos, valiéndonos de ciertas indicaciones sobre sus propiedades generales. Hemos visto ya que hay fundado motivo para considerarlos como agregaciones de partículas aisladas, sumamente pequeñas, separadas ó aproximadas unas á otras por las fuerzas mecánicas ó físicas, y cuyo estado de equilibrio varía sin cesar, por decirlo así. ¿Cuáles son las verdaderas dimensiones de estas partículas de las moléculas y de los átomos? ¿A qué distancia están colocadas unas de otras en los diferentes cuerpos, ya sea en razón de su composición ó de su naturaleza química, ó bien en razón de su estado físico? ¿Qué movimientos las animan? ¿Qué fuerzas las mantienen reunidas? ¿Qué es cohesión, qué afinidad? ¿Qué es atracción molecular, calor, etc.?

No es cosa fácil ni tal vez posible responder á estas preguntas dado el estado actual de la ciencia, pero como forman el objeto primordial de la física, trataremos de indicar sucesivamente sus soluciones parciales.

Volviendo á los cambios de volumen que producen en los cuerpos las variaciones de presión y de temperatura, diremos que lo que principalmente resulta de ellos es que no conocemos el *volumen real, absoluto* de un cuerpo, y que lo único que podemos medir es el *volumen aparente*. No cabe dudar que la contracción debe de tener un límite, puesto que también lo tiene la disminución de temperatura, y que hay en ella, según veremos en otra parte, un cero absoluto. Pero si la práctica nos permite llegar alguna vez á este límite, y si entonces conseguimos determinar el volumen mínimo de los diferentes cuerpos, ¿se seguirá necesariamente de aquí que este volumen sea el de la materia misma de que está formado, es decir, igual á la

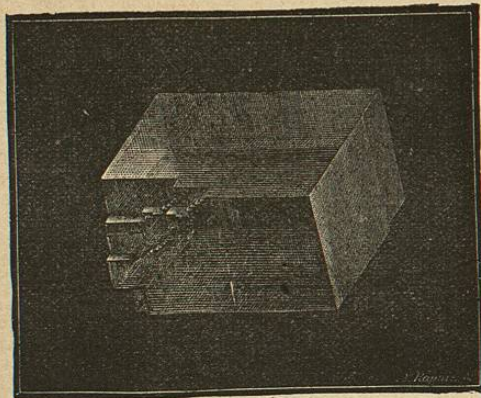


Fig. 14.—Espato de Islandia

suma de los volúmenes de los átomos constituyentes? Esto equivale á preguntar si dichos átomos son capaces de ponerse alguna vez en contacto y formar un todo continuo, ó si por el contrario guardan forzosamente entre sí distancias que no pueden franquear y que señalan el límite extremo de su mayor proximidad. Apenas podemos confiar en que la observación resuelva algún día este problema. Las teorías mejor fundadas de la química y de la física serán las únicas que, por vía de deducción, logren arrojar alguna luz sobre estos misterios de la constitución de la materia.

Mientras tanto, es interesante en alto grado interrogar á la Naturaleza en cuanto ofrece de perceptible á nuestros órganos. Los poros visibles nos han dado una idea de lo que son los poros invisibles. La estructura aparente de los sólidos, de los líquidos y de los gases podrá ayudarnos á comprender la estructura oculta de sus últimas moléculas, ó sea lo que un sabio contemporáneo ha llamado, valiéndose de una imagen atrevida, *la arquitectura de los átomos*.

Al estudiar los cuerpos sólidos, orgánicos ó inorgánicos, hay que empezar, pues, por distinguir las partes homogéneas de las que no lo son, y al decir esto nos referimos á la homogeneidad de estructura. Tan sólo se han de estudiar aisladamente las primeras, puesto que podemos considerar todo cuerpo de estructura heterogénea como si estuviere formado de partes homogéneas diferentes, agrupadas ó asociadas de cualquier modo. Consideremos ante todo los cuerpos inorgánicos. Estos presentan dos aspectos bien definidos, que permiten separarlos en dos distintas clases: á la primera corresponden los sólidos de estructura regular, geométrica ó cristalina; la segunda comprende los de estructura irregular ó amorfa.

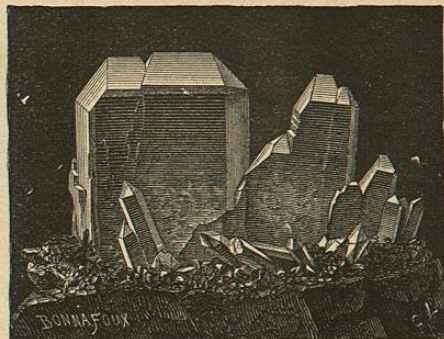


Fig. 15.—Cristales de cuarzo

A primera vista parece que los cuerpos sólidos que se encuentran en la Naturaleza pertenecen en su mayoría á la segunda clase, y que los cristalizados son una excepción; pero estudiando con más minuciosidad los numerosos minerales que constituyen la masa del suelo, se viene á reconocer que todos ó casi todos tienen, ó pueden adquirir, en circunstancias particulares, una estructura cristalina. Muchos cuerpos que, en su apariencia ordinaria, parecen formados de materiales amorfos, irregulares, presentan, examinados con el microscopio, la forma de partículas geométricas, que son sin duda algunos residuos de cristales de mayores dimensiones. Examinando del mismo modo las roturas

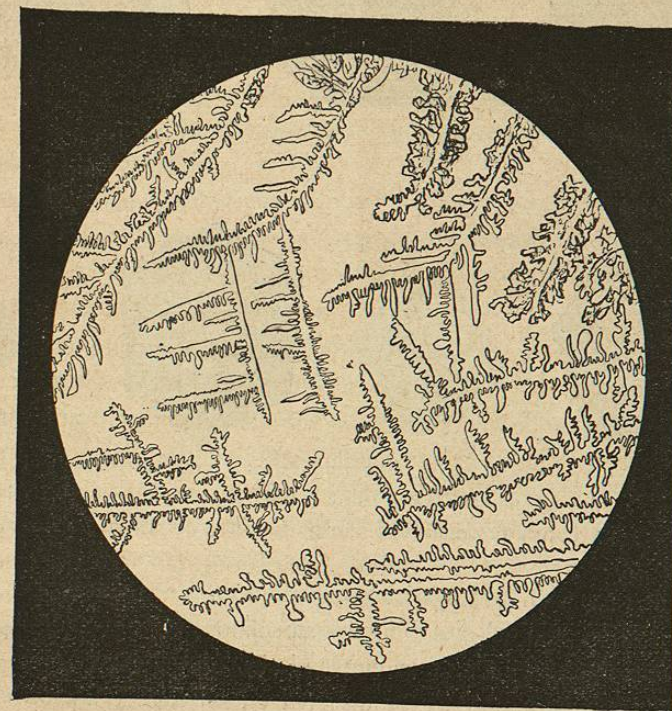


Fig. 16.—Cristales de clorhidrato de amoniaco. (Aumento = 12 diámetros)

recientes de algunas rocas, se observa en sus bordes cierta estructura cristalina, de suerte que más bien puede decirse que los sólidos naturales amorfos son la excepción y que la estructura cristalina comprende la generalidad de las sustancias. No puede darse nada más interesante que el estudio de estas formas, consideradas primitivamente por antiguos físicos y naturalistas como juegos, como curiosidades ó caprichos de la Naturaleza, y cuyas leyes descubrió el genio de los Romé de Lisle, Bergmann y Hauy. La cristalografía es hoy una de las ramas de la ciencia más indispensables para los mineralogistas, físicos y químicos: ella nos enseña que esa innumerable multitud de variadísimas formas que tienen los cristales naturales (figs. 14 y 15), ó los artificiales (fig. 16), puede reducirse á un corto número de tipos ó de formas simples, que con frecuencia se puede pasar de unas á otras mediante el *clivage*, operación que consiste en separar las partes de un cristal en tenues partículas, en hojuelas cuya dirección está en relación con la de las caras de cristal primitivo.

En la figura 17 presentamos algunas formas primitivas, así como unas cuantas derivadas. Fácilmente se echa de ver cómo unas pueden dar origen á otras, ya á causa de la alteración de las caras, ó bien por la de las aristas. Por lo demás, los cristales distan

mucho de presentar en la Naturaleza la forma regular, ó más bien completa, que el estudio ha hecho reconocer como elemento de la substancia cristalina; la mezcla de los individuos, de forma y tamaño variados, produce una porción de alteraciones que sólo son aparentes, lo cual es fácil de comprobar comparando entre sí las figuras representativas de los cristales naturales y de su forma geométrica.

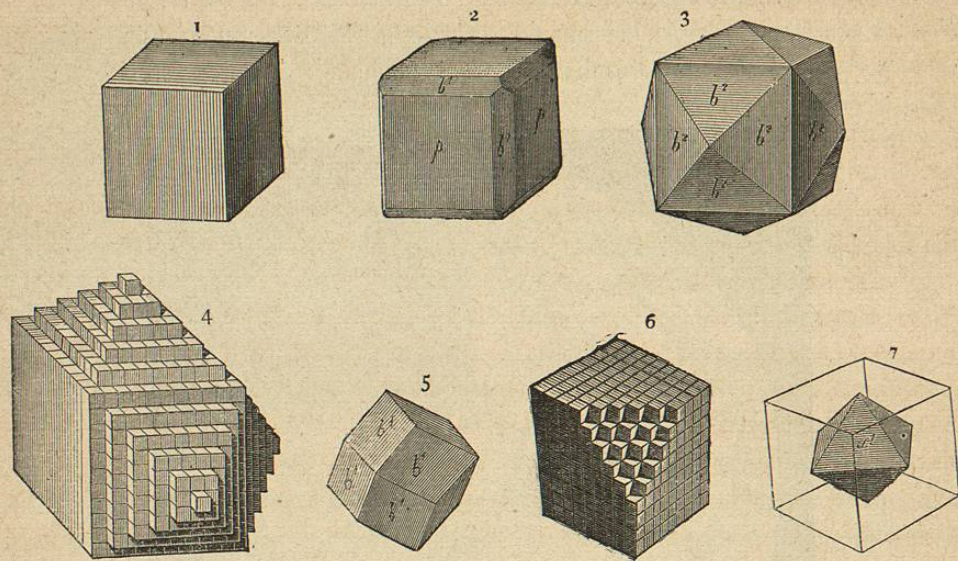


Fig. 17.—Cristal cúbico, formas primitivas y formas derivadas:
1, cubo primitivo; 2, cubo pasando al hexatetraedro; 3, hexatetraedro; 4, cubo dando el dodecaedro romboidal; 5, dodecaedro romboidal; 6, cubo pasando al octaedro; 7, octaedro

Los modos de formación de los cristales se reducen á dos ó tres á lo sumo. Todo cuerpo se cristaliza pasando del estado líquido al sólido; pero el estado líquido en sí se obtiene de dos maneras, según que se emplee la acción del fuego ó que la substancia cuya cristalización se quiera obtener se disuelva en un líquido á propósito; en el primer caso la cristalización se hace por vía de fusión ó por la *via seca*; en el segundo, por la *via húmeda*. Hay otro método que consiste en combinar los dos primeros; pero no podemos descender á detalles más minuciosos acerca de este asunto porque traspasaríamos los límites del plan que nos hemos propuesto. Repetimos que en todo lo que antecede no hemos tenido otro objeto sino el de dar una idea de la estructura molecular de los cuerpos, cuyas propiedades físicas pasaremos ya á estudiar.

CAPÍTULO II

LA GRAVEDAD EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA

I

UNIVERSALIDAD Y CONSTANCIA APARENTE DE LA GRAVEDAD

Entre todas las fuerzas cuyos efectos estudian las ciencias físicas y naturales, no hay una sola que tenga una acción más constante y más universal al parecer que la gravedad. Y ante todo más universal.

En efecto, todos los cuerpos que vemos y tocamos, y con los cuales tenemos más ó menos relación en la superficie de la Tierra, son pesados. Es un hecho práctico.

Una piedra ó cualquier otra masa sólida abandonada á sí misma en el aire desde cierta altura, se precipita, sin detenerse en su movimiento hasta que encuentra un obstáculo material, hasta que toca el suelo por ejemplo; un cuerpo de forma redonda, como una bola, rueda por un plano inclinado al horizonte; si es una masa líquida, como el agua de un arroyo ó de un río, corre por la superficie que, formando cuesta, le sirve de lecho. En una palabra, todos los cuerpos sólidos ó líquidos, sueltos y sin sujeción alguna, propenden á moverse de arriba abajo, consistiendo la gravedad precisamente en esta propensión. Nadie ignora que la tendencia opuesta, observada en los cuerpos sumergidos en un fluido más pesado que ellos, como la subida del corcho en el agua, el humo, el vapor en la atmósfera, sólo son excepciones aparentes, cuya explicación, que veremos en breve, está basada precisamente en las mismas leyes de la gravedad.

¿Se ejerce también esta acción fuera de la Tierra, en el seno de los espacios celestes, influyendo en los cuerpos que pueblan estos espacios? Podemos asegurarlo, por más que no nos sea posible comprobarlo directamente; pero las deducciones de la teoría y del cálculo no permiten ponerlo en duda. Más adelante procuraremos hacer comprender cómo ha llegado á ser una de las verdades científicas más fundadas esta generalización, la conquista más atrevida de cuantas ha hecho la ciencia en el dominio del mundo físico.

Así pues, la fuerza que conocemos en la superficie del globo terráqueo con el nombre de *gravedad*, y que toma en el cielo el de *gravitación*, cuando se ejerce entre los astros, está universalmente difundida por la Naturaleza.

Esto parece tan cierto que, á los ojos de muchas personas, las palabras gravedad y materia representan dos ideas inseparables, una de las cuales no se concibe sin la otra. Sin embargo, debemos hacer desde luego una reserva necesaria por dos conceptos.

Ante todo, si por materia se entiende, según la definición generalmente adoptada, todo cuanto perciben nuestros sentidos, debemos decir que no toda materia es ponderable (1). ¿Hay que negar acaso el nombre de materia al medio que transmite las radia-

(1) "El físico, dice Biot, basándose únicamente en la práctica, llama *cuerpo material* á todo lo que produce en los órganos cierto conjunto de sensaciones determinadas. En este supuesto, el éter, cuyas ondulaciones se comunican á nuestros nervios sin que intervenga ninguna otra substancia material, debe figurar entre los cuerpos materiales. En todo caso el éter es materia.