

que el calor hace sufrir al tejido y á las propiedades químicas de las rocas, se ha encontrado que las masas volcánicas, la *diorite*, el pórfido augítico, el basalto y la lava de Etuat fundidas, despues enfriadas, forman un vidrio negro homogéneo, si el enfriamiento ha sido rápido, y una masa arenosa de estructura granular ó cristalina, si el enfriamiento se ha obrado con lentitud. Se ha probado que las mismas materias podian producir los compuestos mas diferentes; este hecho es de la mayor importancia para el estudio de las rocas de erupcion y de las transformaciones á las que estas rocas pueden dar lugar. Por ejemplo, el carbonato de cal, fundido bajo una fuerte presion, no pierde su ácido carbónico; pero la masa fria se convierte en calcareo granular, ó mármol *saccharoide*. Tales son los resultados obtenidos por la via seca. Por la via húmeda se produce el estado calcareo ó de *aragonite*, segun que el grado de calor se ha debilitado ó elevado, porque las diferencias de temperatura determinan el modo de agregar las moléculas que se unen en el acto de la cristalización. Además, es tal la circunstancia donde las moléculas de un cuerpo pueden adquirir una disposición nueva que se manifiesta por medios ópticos diferentes, sin que el cuerpo haya pasado por el estado de fluidez. Así es como los fenómenos de la detritificación, de la produccion del acero por la fundicion ó de la cementacion, del tránsito del hierro fibroso al estado de hierro granular por la accion del calor, y quizá bajo la influencia de pequeños choques regulares y largo tiempo repetidos, contribuyen á aclarar el estudio geológico del metamorfismo. El calor puede aun producir, en los cuerpos cristalizados, efectos enteramente depuestos; porque desde los asiduos trabajos de Mitscherlich, se sabe que el espato calcareo se dilata segun uno de sus ejes, mientras que se contrae segun el otro.

Si descendemos ahora de estas condiciones generales á algunos ejemplos particulares, vemos desde luego la esquita transformada en pizarra de un negro azulado y brillante por la intermediacion de las rocas plutónicas. Los planes de estratificación son entonces interrumpidos por otros planes de division, unidos, casi perpendiculares á los primeros, indicio cierto de una accion posterior á la metamorfosis de la roca primitiva. El ácido silícico que ha penetrado la esquita arcillosa, produciendo en ella venas de cuarzo la transforma, en parte, en piedra de amolar y en esquita silícica, esta última roca es algunas veces carbonífera; puede entonces dar nacimiento á fenómenos galvánicos. La arcilla, en el mas alto grado de silificación, se convierte en una materia preciosa para las artes; tal es el jaspe encintado que se produce en el Oural, por la erupcion y el contacto del pórfido acitico, Orsk, del pórfido diorítico, Auschkal, ó de una masa redonda de *hypers-*

*tiene*, Bogoslawsk. En la isla de Elva, Monte-Serrato, despues de Federico Haffmann, y en Toscana, despues de Alejandro de Brongniard, el jaspe encintado está formado por el contacto de la esquita con la esfhotide y la serpentina.

El contacto y la accion plutónica del granito, dan á la esquita arcillosa una testura de grano y la transforma en una masa granitoide, es decir, en una mezcla del feldspato y de mica en que se encuentran empastadas grandes particillas de este último mineral; este género metamorfosis fué observado por Gustavo Rose y por mí en el interior de la fortaleza de Buchtarminsk, Altai. "Si es una hipótesis universalmente admitida en geognosia, dijo Leopoldo Buch es la que atribuye á la accion transformatriz del granito en los capas silurianas de los terrenos de transicion, todo el *gneiss* comprendido entre el mar Báltico y el golfo de Finlandia; tiene aun para la mayor parte de los geólogos, el valor de una verdad demostrada. En los Alpes, en el monte Saint-Gothard, la marga calcárea ha sido transformada igualmente por el granito, en *micaschiste* al principio, y despues en *gneiss*. La produccion del *gneiss* y del *micaschiste* bajo la influencia del granito se nota tambien en el grupo político de la Tarantesa, donde se han encontrado belemnitas en rocas que podrian pasar ya por *micaschiste*, en el esquitoso de la parte occidental de la isla de Elva, no lejos del Cabo Calamita, y en el Fichtelgebirge de Bairenth, entre Lomitz y Markleiten.

Hemos dicho que el jaspe cuyas masas considerables no se conocieron en la antigüedad, era producido por la accion volcánica del pórfido augítico; otra materia que tuvo un grande y noble uso antiguamente en las artes; el mármol granular *saccharoide*, debe considerarse igualmente como una capa de sedimento modificada por el calor terrestre y por la inmediacion de una roca de erupcion. Esta última asercion está justificada por el análisis exacto de los fenómenos que nacen al contacto de las rocas ígneas, y por las investigaciones directas de Sir James Hall en la fusion de las sustancias minerales; estas bellas investigaciones que datan mas de medio siglo, unidas al estudio profundo de las venas graníticas, han apresurado singularmente los progresos de la geognosia moderna. Algunas veces la accion de las rocas de erupcion se detiene á una débil distancia de la superficie de contacto; entonces se produce una transformacion parcial que se estiende en la capa á manera de penumbra, tal es la tiza de Belfast, Irlanda, atravesada por venas de basalto; tales son las capas fosilíferas de calcáreo compacto, parcialmente impregnadas por un granito nítico, hácia el Puerto de Boscampo y en la cascada de Canzocoli, Tirol, que el conde Marzari Pencati ha hecho célebre. Otro modo de transformacion es en el que todas las capas de calcáreo compacto han cambiado enteramente en

calcáreo granular por la accion del granito, de la *syenite* ó del pórfido diorético.

Permitidme hacer aquí un recuerdo especial de los mármoles de Pharos y de Carrara, á los que las grandes obras de escultura han dado tanta importancia y que han figurado tanto tiempo en nuestras colecciones geológicas como tipos de los calcáreos primitivos. Unas veces la accion del granito se ejerce por el contacto inmediato, en los Pirineos por ejemplo; otras veces se propaga al través de las capas intermedias de *gneiss*, de *micaschiste*, como en el continente griego y en las islas del mar Egeo. En ambos casos las transformaciones de las capas calcáreas han sido sinerónicas; pero han procedido diferentemente. Se han notado en el Atica, en la isla de Eubea y en el Peloponeso, que "el calcáreo superpuesto al *micaschiste* es tanto mas bello y tanto mas cristalino, cuanto el *micaschiste* es mas puro, es decir, menos arcilloso." Esta última roca, así como los extras de *gneiss* se igualan en muchos lugares profundos de Pharos y de Antiparos. Despues del fundador de la escuela de Elée, Xenosphandé de Colophon, que pensaba que la tierra hubiera sido cubierta alguna vez por el mar, se habria encontrado fósiles marinos en la carrera de Syracuse, y la señal "de un pequeño pescador, una sardina," en el fondo del de Pharos; si esta asercion referida por Origéne, fuera exacta, se podria creer que ciertas capas fosilíferas no han sufrido mas que una metamorfosis incompleta. En cuanto al mármol de Carrara, luna, cuyo empleo remonta á una época anterior al siglo de Augusto, y conserva el privilegio de proveer exclusivamente las necesidades del estatuario, tanto tiempo cuanto la explotacion de Pharos quedase despreciada, es una capa transformada por las acciones plutónicas, del mismo asperon calcáreo, maeigno, que se manifiesta en los Alpes Apuanes, entre el *micaschiste* y la esquita *talquenuw*. Se ha asignado otro origen á los mármoles de ciertas localidades: el calcáreo granular se habria formado desde luego en el interior de la tierra; despues, repelido á la superficie por el *gneiss* y la *syenite*, se hubiera llenado de fisuras, como en Auerbach, en el Bergstrasse; mas no es permitido hacer mencion de lo referido, antes de haber estudiado la cuestion en los lugares mismos.

De todas las metamorfosis producidas por una roca de erupcion en los extras de calcáreo compacto, la mas notable es la que Leopoldo Buch ha señalado en las masas dolomíticas, sobre todo en las del Tirol meridional y de la vertiente italiana de la cordillera de los Alpes. Este modo de transformacion de la parte calcárea, procede de las fisuras de que está atravesado en todos sentidos. Por todas partes las grietas están tapizadas de cristales romboides de magnesia; la formacion toda no es mas que una aglomeracion granular de cristales de dolomia

en que no se encuentran ya vestigios de la estratificación originaria, ni los fósiles que habia allí primitivamente. Hojas de talco y masas de serpentina están diseminadas aquí y allá en la nueva roca. En la Fassathal la dolomia se eleva verticalmente en paredes pulidas y de una blancura asombrosa, hasta muchos miles de piés de altura. Forma cimas agudas numerosas, muy próximas; pero que no se tocan. Su aspecto recuerda el gracioso paisaje de montañas fantásticas con que ha adornado el fondo del retrato de Monalisa el célebre Leonardo de Vinci.

Los grandes fenómenos geológicos que acabamos de describir, hablan á nuestra imaginacion tanto acaso como á nuestro entendimiento: son la obra de un pórfiro augítico que ha levantado, hecho pedazos y metamorfoseado las capas superpuestas.

El ilustre observador que ha señalado la conversion de la parte calcárea en dolomia, no atribuye este fenómeno á la introduccion de cierta cantidad de talco proveniente del pórfiro negro, sino que lo considera tan solo como una modificacion contemporánea de la proyeccion de esta última roca, á través de las anchas fisuras llenas de vapores. Pero preciso es decirlo, se encuentran de la misma manera en ciertos lugares lechos de dolomia intercalados entre los calcáreos, y falta por tanto que explicar cómo ha podido operarse la transformacion sin la intervencion de una roca endógena. En efecto, ¿cuáles pueden ser en estos casos escepcionales las vías seguidas por la accion plutónica? ¿Será necesario abandonar las teorías tan frecuentemente coronadas por el buen éxito, y limitarse á repetir el antiguo adagio romano: muchas veces la naturaleza sigue caminos diferentes para llegar al mismo fin? ¿Cómo habriamos hecho notar paso á paso en todo un pais, en zonas enteras, la correlacion de dos fenómenos? ¿Por do quiera habriamos visto la proyeccion del melaphyro acompañar la metamorfosis de la parte calcárea, compacta, en una masa cristalina dotada de nuevas propiedades químicas, y cuando llegamos á encontrar un lugar en que el primer fenómeno no acompaña al segundo? ¿No nos será permitido aguardar que observaciones posteriores vengan á explicar esta contradiccion aparente, contradiccion que en el último análisis no depende acaso mas que de una anomalía oculta en las condiciones bajo las cuales la causa principal ejerce ordinariamente su accion? Tanto valdria como poner en duda la naturaleza volcánica y la fluidez ígnea del basalto, porque se han presentado de vez en cuando algunos casos aislados en que venas de basalto han penetrado por un lecho de carbon sin robarle ni la mas minima parte de su carbono. En resumen, seria imprudente abandonar el hilo conductor, ó si se quiere mejor, la dudosa cla

ridad que nos guía en la oscura region de las formaciones minerales.

Despues de haber descrito la trasformacion de la cal carbonada compacta, en calcáreo granular y en dolomia, nos quedó que hablar de un tercer modo de alteracion que los vapores de ácido sulfúrico volcánicamente emitidos en las épocas primitivas han producido sobre la misma roca. El gypse, espejuelo, piedra de que se hace el yeso, nacido de esta reaccion, ofrece mucha analogía con los depósitos de salgemma y de azufre; este último mineral resulta de la precipitacion de los vapores sulfurados. Sobre las elevadas cordilleras de Quindiu, lejos de todo volcan, he encontrado depósitos de azufre que se habian formado de una manera análoga en las fisuras, mientras que en Sicilia, en Cattòlica cerca de Gigtenti, el azufre, el gypse y la salgemma pertenecen á las capas mas recientes de los terrenos secundarios, es decir á los terrenos calizos. En los bordes del cráter del Vesubio he visto tambien fisuras llenas de salgemma harto considerables para dar origen á un comercio prohibido. En los Pirineos es imposible dudar que la aparicion de la dolomia, del gypse y de la salgemma, no corresponde á la de masas diólicas. Todo en estos fenómenos nos anuncia la accion de las fuerzas subterráneas sobre las capas sedimentarias depositadas por el océano primitivo.

Es bien difícil señalar un origen á las riquezas de cuarzo puro que abundan en los minerales de la cadena de los Andes de la América del Sur. De Caxamarca á Guangamarca bajando hácia la mar del Sur, he encontrado lechos de cuarzo de dos á tres mil metros de estension; estos lechos reposan ya sobre pórfido desprovisto de cuarzo, ya sobre uno de diorites, acaso provienen de la trasformacion de la greda como los lechos de cuarzo del cuello de Poissouviere, al Este de Breanson, á los cuales Elic de Beaumont atribuye este origen. En el Brasil en los distritos de diamante en las provincias Minas-Geraes y de San Pablo que han sido recientemente estudiadas con cuidado por Clausin, las fuerzas plutónicas de las vetas de diorite han producido mica comun y hierro especular en las vetas de cuarzo. Los diamantes de Grammogoa estan encerrados de ácido silíceo sólido; algunas veces estan envueltos en hojas de mica lo mismo que los granates de micaschiste. Los diamantes mas septentrionales que han sido descubiertos despues del año de 1829, á los 38° de latitud norte en la vertiente europea del Oural, se encuentran en relacion geológica con la dolomia negra carbonífera de Adolfshei y con el pórfido augítico. Pero estas relaciones no han sido aun suficientemente estudiadas.

Finalmente, es preciso colocar en el número de los mas notables fenómenos de contacto, la formacion de los granates en la pizarra en contacto con el basalto ó la dolerita, Nortumber-

land isla de Anglescy, y la produccion de una gran cantidad de hermosos cristales como el granate, la vesubiana la augita y la selainita que se desarrollan en la superficie por el contacto de las rocas de erupcion y de las capas sedimentarias ó en la union de la sienite de Monson con la dolomia. En la isla de Elvamasas, de serpentina que acaso en ningun otro punto presentan tan claramente el carácter de rocas de erupcion han producido en sus fisuras sublimaciones de hierro especular y óxido rojo del mismo metal. Diariamente vemos depositarse esta clase de hierro de la misma manera en los bordes del cráter y en los recipientes de lavas recientes de los volcanes de Stromboli, del Vesubio y del Etna. Estas vetas y vetas que las fuerzas volcánicas hacen nacer á nuestra vista sobre rocas llegadas ya á cierto grado de dureza, nos indican cómo se han formado durante las primeras edades geológicas las vetas metálicas; por donde quiera que la corteza sólida de nuestro planeta poco espesa entonces y cuarteada por las conmociones y por el enfriamiento repentino y el cambio de volumen, ha ofrecido comunicaciones numerosas con el interior y salidas multiplicadas á los vapores ascendentes á las sublimaciones de toda especie. La disposicion de las partículas en capas paralelas, la repeticion regular de las capas homólogas en las partes opuestas de la vertiente, *techo y pared*, la cavidad celular prolongada de la parte mediana, dan á conocer inmediatamente en muchas vetas metalíferas la accion plutónica de la sublimacion.

#### *Produccion artificial de los minerales simples.*

Fué una inspiracion bien fecunda por cierto para la teoria de la formacion de la corteza terrestre y para la del metamorfosismo, la idea de comparar los minerales naturales con las escorias de nuestros grandes hornos, y tratar de reproducirlos en todas sus partes. Todas estas operaciones nos presentan en efecto la accion de las mismas afinidades que determinan las combinaciones quimicas en nuestros laboratorios como en el seno de la tierra. Se ha reconocido entre los minerales formados artificialmente, los mismos minerales simples, los mas importantes de que se componen las rocas de erupcion plutónicas ó volcánicas no groseramente mutados sino reproducidos en el estado de cristalizacion con la mas completa identidad. Sin embargo, conviene distinguir los minerales que por casualidad se han formado en las escorias de aquellos cuya reproduccion se ha propuesto el quimico. Entre los primeros se cuenta el feldspato la mica la augita, la olivina la blinda el óxido de hierro cristalizado, hierro especular, el óxido de hierro magnético octaédrico entre los segundos el granate, el rubí, tan duro como el oriental, la olivina y la augita. Estos

minerales forman las partes constituyentes del granito, del micaschiste, del basalto, de la dolerita y de un gran número de pórfidos. La reproduccion artificial del feldspato es muy importante en geologia para la teoria de la conversion de pizarra arcillosa que contiene los elementos del granito, sin exceptuar la potasa.

Despues de haber hecho una revista en estas consideraciones generales sobre la parte sólida de la corteza terrestre de las tres clases fundamentales de rocas, las rocas de erupcion, las rocas de sedimentacion, y las rocas metamórficas, nos falta aun nombrar la cuarta y última clase que comprende las *conglomeraciones* ó las rocas *detríticas*. Estos nombres por sí solos recuerdan las revoluciones de la superficie de la tierra, recuerdan tambien el acto de la union que ha consolidado por medio del óxido de hierro ó de materias arcillosas, y calcáreas considerables fragmentos de roca. Las conglomeraciones y las brechas en toda su acepcion, presentan los caracteres de un doble origen; los materiales que las componen no han sido mecánicamente acumulados por las ondas de la mar ó por las aguas dulces en movimiento; porque existen algunas rocas detríticas cuya formacion no puede en ningun caso ser atribuida á la accion de las aguas.

#### *Constitucion química de las rocas en general.*

A la primera ojeada que se echa sobre la distribucion geográfica de las rocas y sobre la estension que cada una de ellas ocupa en las partes accesibles de la corteza del globo, se reconoce que la sustancia mas abundante es el ácido silíceo, ordinariamente opaco y colorado. Inmediatamente despues del ácido silíceo viene el carbonato de cal; despues las combinaciones del ácido silíceo con la alumina, la potasa y la sosa, con la cal, la magnesia y el óxido de hier-

ro. Las sustancias que comprendemos bajo el nombre genérico de rocas, son asociaciones determinadas de un número muy corto de minerales simples, á los cuales vienen á unirse otros minerales parásitos, pero siempre segun ciertas leyes fijas. Estos elementos no son sino particulares á tal ó cual roca; así pues el cuarzo ácido silíceo, el feldspato y la mica cuya reunion constituye esencialmente el granito, se encuentran aislados ó combinados dos á dos en un gran número de formaciones diferentes. Una cita bastará para demostrar cuanto varian los elementos y las proporciones de una roca feldspática á una roca micacea: Mischelich ha hecho ver, que si le añade al feldspato tres veces mas la cantidad de alumina y la tercera parte de la proporcion de silicio que contiene ya, se obtiene la composicion química de la mica. Estos dos minerales contienen potasa cuya presencia en un gran número de rocas es un hecho anterior sin duda ninguna á la aparicion de los vegetales sobre la tierra.

En orden de superposicion de las capas sedimentarias de los lechos metamórficos y de las conglomeraciones, la naturaleza de los terrenos que las rocas de erupcion han tocado, atravesado la presencia de los restos orgánicos y sus diferencias de estructura, he aquí los indicios que permiten reconocer la edad relativa de las formaciones sucesivas; ellos son los monumentos de la historia del globo y los puntos culminantes de su cronologia, que el genio de Hooke presintió hace mucho. La aplicacion de la botánica y zoologia para determinar la edad de las rocas, ha señalado la era mas brillante de la geognosia moderna. Bajo la influencia vivificadora de los estudios paleontológicos, la teoria de las formaciones sólidas de la corteza del globo, se ha sacudido al fin á lo menos en el continente, de sus trabas originales, para adoptar un carácter enteramente nuevo de profundidad y variedad.

