

en los puntos en que la modificación ha avanzado más, se han convertido en cristales de feldspato con sus ejes paralelos unos á otros. En el seno de otras capas, asociadas á las anteriores partículas silíceas, han sufrido aproximaciones semejantes para dar lugar á nódulos de cuarzo hialino.

No hay, pues, error en suponer, que al través de las rocas desprovistas de exfoliación, las hojas y planos de estratificación coincidirán habitualmente, y que lo mismo sucederá en todos los casos en que las exfoliaciones concuerden con las pinturas originales de sedimentación; por ejemplo, en el de los esquistos grácicos de fucoides del Niessen, sobre el lago Thoune en Suiza. Darwin admite que la disposición foliácea representa el resultado extremo del procedimiento, cuyo primer efecto es la exfoliación, ó que la fuerza de cristalización ha sido muy enérgica siguiendo la dirección de la exfoliación. Razonando con arreglo á esta hipótesis, el autor añade: «Me ha sorprendido vivamente en las partes orientales de la Tierra del Fuego, el hecho de que láminas delgadas del esquisto arcilloso, en los puntos en que cortan exactamente las fajas de estratificación, y son así incontestablemente verdaderos planos de estratificación, se diferencian ligeramente una de otra por tintas agrisadas y verdosas, por su compacidad y el aspecto más jaspeado de algunas de ellas. Este hecho demuestra que la misma causa, por la cual se ha producido la estructura muy foliácea, ha alterado también muy ligeramente el carácter mineral de la roca á lo largo de los mismos planos.» Como otra prueba del paso de los planos de exfoliación á los de hojas, el profesor Sedgwick nos enseña que en la Gales del Norte, superficies de esquisto se hallan algunas veces encostadas de clorita, cuyos cristales no solamente han dibujado los planos de exfoliación, sino que se han esparcido al través de la masa entera de la roca. Del mismo modo, dice Darwin, en algunas localidades de la América meridional, se ven cristales de epidoto y de mica que tapizan los planos de exfoliación.

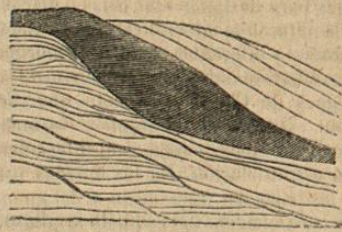
El doctor Sharpe ha creído poder afirmar, por las observaciones que ha hecho en los Highlands de Escocia, en 1851, que las hojas del gneiss y del micasquisto, son esencialmente paralelas unas á otras, pero no tienen relación alguna con los planos primitivos de estratificación; admite, además, que los planos aun mismo tiempo de exfoliación y foliación de las rocas de los Grampianos y de la región del Monte Blanco en Suiza (que ha examinado en 1854), son porciones de grandes curvas ó ejes anticlinales de una notable regularidad. Del mismo modo, en la América del Sur, los planos de exfoliación del esquisto arcilloso, serían, según Darwin, á pesar de sus variaciones y de sus prolongaciones opuestas, arcos de grandes curvas ó dobleces, cuyos puntos culminantes habrían sido desgastados y destruidos.

No hay según creemos dificultad de imaginar que en las rocas de composición homogénea, la foliación puede haberse verificado siguiendo los planos en un principio determinados por la expansión de materiales á lo largo de la inclinación de exfoliación; porque geólogos experimentados han procurado inútilmente determinar en algunas comarcas, cual de los dos grupos de planos divisionarios debía referirse á la exfoliación, y cual á la estratificación. Después de una duda prolongada, han concluido por distinguir, que en un principio habían confundido las líneas de exfoliación con las de sedimentación; en efecto, las primeras son mucho más marcadas que las últimas. Ahora bien, si tales masas esquistosas se vuelven muy cristalinas y son convertidas en gneiss, esquisto anfibólico ó cualquier otro miembro de la clase hipógena, los planos de exfoliación se harán mucho más visibles que los de estratificación. El profesor Henslow ha demostrado desde el año 1824, que la división laminar de

los esquistos cloríticos y otros esquistos cristalinos en Anglesea, seguía aproximadamente los planos de estratificación; el profesor Ramsay en 1844, ha hecho la misma observación en cuanto al gneiss y al micasquisto de Arram. El geólogo que acabamos de citar en último lugar, opina que en Anglesea el metamorfismo se ha ejercido probablemente en la época en que los volcanes del Siluriano Inferior estaban en actividad, y por consiguiente mucho tiempo antes de la exfoliación de las rocas de Welsh; en efecto, esta exfoliación afecta á la vez las capas del Siluriano Inferior y del Cambriano. En la misma Memoria, el autor después de haber recordado la teoría de Darwin sobre la foliación añade: «Si las rocas no hubiesen sido exfoliables cuando el metamorfismo ejerció su influencia, los planos de foliación se hicieron susceptibles de coincidir con los de estratificación; pero si se determinó una exfoliación muy pronunciada, los planos de las hojas debieron confundirse en paralelismo con los de exfoliación.»

Por lo que se ha visto en los Grampianos, en los condados de Forlar y de Perth, Mac-Culloch tiene razón en clasificar el gneiss y el micasquisto entre las rocas estratificadas, y considerar que ciertos lechos de cuarzo puro, de 30 á 60 centímetros de espesor, que se prolongan en kilómetros enteros siguiendo la dirección de sus hojas, indican planos de estratificación original; la intercalación de masas calizas y de esquistos cloríticos, actinolíticos ó anfibólicos en medio de las rocas anteriores, lleva el sello de un origen semejante. También puede admitirse completamente que las fajas alternativas de cuarzo ó de mica y cuarzo, de feldspato ó de mica y feldspato, de carbonato de cal etc., son más distintas en ciertas rocas metamórficas que las fajas alternativas de muchos depósitos sedimentarios; se puede suponer que en el primer caso, partículas semejantes han ejercido una atracción molecular unas sobre otras, y se han reunido en fajas más distintas en composición mineral que antes de la cristalización de las rocas.

Hemos visto hasta qué punto los planos originales de estratificación podían alterarse y aun borrarse por la acción de concreción al través de los depósitos que conservan aun sus fósiles, por ejemplo, en la caliza magnésiana. De aquí se originan errores cuando se trata de determinar si la foliación concuerda ó no con la disposición que imprime á todo depósito acuoso la gravitación combinada con la acción de la corriente. Además, en la estratificación de las rocas cristalinas no debe esperarse encontrar mucha regularidad. La presencia de masas enclavadas en el seno de las acumulaciones de arena gruesa y de cantos rodados, la división diagonal, las ondulaciones, la estratificación discordante, los dobleces fantásticos producidos por la presión lateral, los fallos de diferentes anchuras, los diques de trapp, los cuerpos organizados de diferentes formas, y otras desigualdades en los planos de sedimentación, en grande ó en pequeña escala, son otras tantas causas perturbadoras del paralelismo. Sin formas complejas y enigmáticas de este género, el metamorfismo no sería fácil de sostener.



División laminar de esquisto arcilloso; montaña de Seguinat, cerca de Gavarnie, en los Pirineos.

En el diagrama adjunto se ha representado con cuidado la división laminar de un esquisto arcilloso grueso observado por Lyell hacia el año 1830 en los Pirineos. El esquisto se halla en parte en estado de pizarra verde y azul (fillada), y en parte en estado sumamente cuarzosos; el conjunto pasa inferiormente al micasquisto. El corte vertical que aquí se ve, mide unos 90 centímetros de altura, y ciertas fajas son en él tan delgadas, que se pueden contar hasta cincuenta en el espesor de 25 milímetros. Algunas son de cuarzo puro.

Se encontrará semejanza entre estos diferentes casos, y la división diagonal que hemos indicado en las rocas sedimentarias, aunque las fajas de cuarzo y de mica ó de feldspato y otros minerales sean más distintas en las hojas alternativas que lo eran primitivamente.

Elias de Beaumont que considera la mayor parte de los gneiss y micasquistos de los Alpes como capas de sedimento alteradas por la acción plutónica, admite también que ciertos gneiss de la misma cordillera son productos de erupción, ó en otros términos, especies de granitos salidos de las profundidades de la tierra que se habrían dispuesto en láminas paralelas á la manera de los traquitos de que hemos hablado.

Si se supone que una masa ha sido comprimida y prolongada siguiendo una dirección determinada, posteriormente al desarrollo de los cristales de mica, de talco ó de otros diversos minerales en pajillas pequeñas, quizá estas se habrán dispuesto ellas mismas en planos paralelos á los de movimiento; un procedimiento de este género explicaría lo que los cancheros llaman el grano en ciertos granitos (en Inglaterra), es decir, la tendencia de la roca á rajarse en un sentido más bien que en otro. Pero en tesis general el grado de fusión de los esquistos cristalinos no parece haber sido tal, que haya ocasionado un movimiento análogo al de la lava ó al del granito, y por esto las rocas de su clase no envían venas al través de las masas que las rodean. En el capítulo siguiente investigaremos los diferentes períodos á que se pueden referir los esquistos hipógenos y metamórficos, y examinaremos el por qué, durante tan largo tiempo, los geólogos les han considerado como dignos del nombre de primitivos.

CAPITULO XXXII.

SOBRE LAS DIFERENTES EDADES DE LAS ROCAS METAMÓRFICAS.

Según la teoría que vamos á adoptar en este capítulo, la edad de cada grupo de rocas volcánicas comprende dos divisiones: una durante la cual se han depositado estas rocas, y otra en que se han vuelto cristalinas. Rara vez se puede precisar con exactitud la fecha de cada una de estas divisiones, habiendo sido destruidos los fósiles por la acción plutónica, y siendo igual el carácter mineral á pesar de la edad. La superposición misma es un carácter antiguo, sobre todo cuando se trata de determinar el período de cristalización. Supongamos por ejemplo, que las capas metamórficas de los Alpes, cubiertas de lechos cretáceos sean positivamente lias alterado, habrán adquirido su estructura cristalina durante el período cretáceo ó durante la era terciaria. Admitamos que sea en tiempo del depósito Eógeno; en este último caso la roca transformada deberá recibir el nombre de Eógena, tanto como roca metamórfica, mientras que verdaderamente es de edad liásica, y aun la superposición de la creta no impedirá á la roca metamórfica subyacente ser Eógena.

Al tratar de la edad de las rocas plutónicas, hemos citado numerosos ejemplos de depósitos primarios, secundarios y terciarios convertidos en capas meta-

mórficas cerca de su contacto con el granito. No puede dudarse en estos casos, que hiladas en otro tiempo compuestas de liano, arena y guijo ó de arcilla, margas y caliza conchifera, hayan sido transformadas hasta la distancia de algunos metros y á veces en centenares de decímetros, en gneiss, micasquisto, esquisto anfibólico, clorito esquisto, cuarzo roca, mármol estatuario y otros.

Pero cuando la acción metamórfica se ha ejercido en gran escala, ha destruido radicalmente todo vestigio que pudiera indicar más tarde la fecha de su desarrollo. Fácil es establecer la identidad de dos partes diferentes de una sola capa: una donde la roca se encuentra en contacto con una masa volcánica ó plutónica que la ha cambiado ya en mármol, ya en esquisto anfibólico, y otra, poco distante, donde no ha podido del todo ser alterada, y contiene todavía fósiles; pero cuando se deben comparar dos porciones de una cordillera montañesa, una metamórfica y otra no modificada, es necesaria toda la instrucción y habilidad de un buen práctico para llegar á resultados satisfactorios, y aun algunas veces las investigaciones fracasan completamente. Citaremos uno ó dos ejemplos de alteración en grande escala, y nos esforzaremos en hacer comprender al geólogo principiante la serie de razonamientos en ayuda de los cuales se llega á concluir que enormes masas de capas fosilíferas han sido convertidas en rocas cristalinas.

NORTE DE LOS ALENINOS.—CARRARA.—El famoso mármol de Carrara que se emplea en escultura, era en otro tiempo considerado como tipo de la caliza primitiva. Abunda en las montañas de Massa Carrara como se las ha llamado; los picos más elevados de esta cordillera miden cerca de 560 metros. Se deducía su remota antigüedad de su textura mineral, de la ausencia de fósiles en el seno de su masa, y de su paso hacia la parte inferior á talsquitos y micasquitos granatíferos; estas últimas rocas manifiestan ellas mismas mas abajo, una transición al gneiss que se encuentra penetrado en Foru de venas graníticas. Ahora bien, las investigaciones de Savy, Bosué, Paretto, Guidoni, De la Beche, Hoffmann y Pilla, han demostrado que este mármol considerado en otro tiempo como producido anteriormente á la existencia de los seres organizados, no es en realidad sino una caliza alterada del período Oolítico, los esquistos cristalinos subyacentes son también gres y esquistos secundarios modificados por la acción plutónica. Para llegar á estas conclusiones, los autores antes citados han afirmado, primero que las rocas calizas de los alrededores del golfo de la Spezia que abundan en fósiles Oolíticos, adquieren una textura tanto más parecida á la del mármol de Carrara, cuanto más penetradas se hallan de rocas trapeanas y plutónicas, tales como diorita, eufótida, serpentina y granito.

Se observa en los puntos en que las formaciones secundarias no están alteradas, que la más superior de las rocas es la caliza común de los Apeninos con nódulos de pedernal; debajo existen esquistos arcillosos, y en la base del todo gres arcillosos y silíceos. Los fósiles abundan en la caliza, pero son muy raros al través de los esquistos y gres subyacentes. Se han seguido, pues, estas rocas y buscado su paso lateral á las masas de la otra serie correspondiente que es completamente metamórfica; esta se halla coronada en su cumbre de un mármol blanco, granugiento, totalmente desprovisto de fósiles, y casi exento de estratificación, en cuyo seno no existen nódulos de pedernal sino una materia silícea diseminada al través de la masa en forma de prismas de cuarzo. Debajo de esta caliza y reemplazando á los esquistos arcillosos, existen tales quistos, jaspes y corneana, y en fin, en la parte más baja, en lugar de gres silíceos y arcillosos existen cuarzitas y gneiss. Si todas las capas secundarias de los Apeninos hubieran experimentado cam-

bios semejantes, sería imposible determinar su verdadera edad, y conforme al método de clasificación adoptado por los primeros geólogos, se les habría considerado como rocas primarias. En este caso, la fecha de su origen se hubiera remontado á una época anterior al depósito del Siluriano Inferior ó del Cambriano, aunque en realidad se hayan acumulado durante el período Oólitico, y hayan sido metamorfoseadas en alguna época subsiguiente quizá muy moderna.

ALPES DE LA SUIZA. En los Alpes en general se hacen descubrimientos análogos respecto á la alteración de las capas; pero los fenómenos se desarrollan allí en mayor escala. Hacia la parte oriental de esta cordillera se distinguen perfectamente algunas de las hileras primarias fosilíferas, después formaciones secundarias antiguas, y por último rocas oóliticas y cretáceas. Ciertos depósitos terciarios se encuentran allí también á un nivel menos elevado y colocados contra los costados de las montañas; pero en los Alpes centrales ó de la Suiza, las formaciones primarias fosilíferas faltan, así como las formaciones secundarias antiguas; las capas Cretáceas, Oóliticas, Liásicas y aun Eóceas pasan allí insensiblemente á rocas metamórficas que consisten en caliza laminosa, talesquisto gneiss talcoso, micasquisto y otras variedades. En cuanto á la edad de este vasto conjunto de estratos cristalinos, solo se puede afirmar que las porciones superiores han sido alteradas posteriormente al depósito de los terrenos secundarios, y aun algunas después de la acumulación del Eóceo; pero es imposible no afirmar que la desaparición de las rocas secundarias antiguas en las capas primarias fosilíferas, sea debida á su conversión en esquistos cristalinos.

Difícilmente podría darse á los geólogos que nunca han visitado los Alpes una idea exacta de los diferentes argumentos que existen en favor de esta opinión. En primer lugar, en ciertas localidades de estas elevadas montañas cerca del granito las capas Oóliticas, Cretáceas y Eóceas han sido convertidas en mármol granugiento, gneiss y otros esquistos metamórficos. Este hecho demuestra de una manera incontestable, que las causas plutónicas han continuado en los Alpes hasta una época comparativamente reciente y aun posterior quizá, al depósito de algunas de las formaciones nummulíticas ó medianas del Eóceo. Una vez establecido este punto, es muy natural admitir que varias de las rocas fosilíferas inferiores, que probablemente se hallaron expuestas durante mas tiempo á una acción semejante, debieron metamorfosearse en un grado mucho mas intenso.

Existen también en ciertas partes de los Alpes de la Suiza masas enormes de capas secundarias y aun terciarias que han adquirido la disposición semicristalina designada por Werner con el nombre de testura de *transición*; este género de testura ha conducido naturalmente á los partidarios de la doctrina del geólogo sajón que han considerado como muy importante el carácter mineral, á clasificar las capas de que se trata entre las formaciones de transición ó grupos mas antiguos que las rocas secundarias mas inferiores. Ahora bien, es probable que estas capas hayan sido afectadas, aunque en grado menor, por la misma acción plutónica que ha alterado radicalmente y metamorfoseado tan gran número de formaciones subyacentes; porque en los Alpes la acción del fuego no ha sido en manera alguna confinada á la intermediación del granito. Esta última roca y otras plutónicas aparecen rara vez en la superficie, por mas profundas que sean las quebradas abiertas en las laderas de las montañas. No puede dudarse que existen debajo á una profundidad poco considerable y hemos visto ya en otro lugar que en ciertos puntos, como en Valorsina, cerca del Monte Blanco, se presentan un granito y venas de la misma roca atravesando un gneiss talcoso, el cual en su parte

superior pasa insensiblemente á capas secundarias.

En los Alpes de la Suiza y de la Saboya es, sin contradicción, mas que en ninguna otra comarca de Europa donde el geólogo encontrará indicios de un desarrollo considerable de la acción plutónica; porque en estas montañosas regiones se alzan los monumentos mas asombrosos de la violencia mecánica á impulsos de la cual capas de algunos centenares de metros de espesor, han sido encorvadas, dobladas é invertidas. Allí es donde formaciones secundarias marinas de una fecha relativamente reciente, Oóliticas y Cretáceas, han sido elevadas á la altura de 3,660 metros, y algunas capas Eóceas á la de 3,030 metros sobre el nivel del mar; depósitos de la era Mióceas han llegado hasta 1,220 y 1,520 metros; hoy rivalizan en altura con las cumbres mas elevadas de la Gran-Bretaña.

Si el lector quiere consultar las obras de varios geólogos eminentes que han explorado los Alpes, especialmente las de Beaumont, Studer, Necker, Boué y Murchison, verá que todos admiten mas ó menos la opinión que acabamos de desenvolver. Studer y Hugi han establecido en efecto que existen en una gran escala en estos elevados montes alternativas completas de capas secundarias con el gneiss y otras rocas de estructura esencialmente metamórfica. Lyell refiere haber visitado algunas de las localidades mas notables citadas por estos autores; pero aunque está de acuerdo con ellas acerca de la existencia de pasos de la serie fosilífera á la serie metamórfica lejos del contacto del granito ó de otras masas plutónicas, pregunta si no podrían explicarse de otro modo las alteraciones distintas de hileras muy cristalinas con las capas no alteradas de que acabamos de hablar. En uno de los cortes descritos por Studer, corte que se refiere á las regiones mas elevadas de los Alpes Berneses y especialmente al Roththal, valle inmediato á la línea de las nieves perpetuas, á la parte Norte del Jungfrau, se encuentra una masa notable de gneiss, de 300 metros de espesor y de 460 metros de largo; no solo reposa sobre capas que contienen fósiles oóliticos, sino que también se halla algunas veces cubierta por ellas. Estas anomalías se explican en parte, suponiendo que grandes enclaves sólidos de gneiss hayan penetrado lateralmente entre los estratos con que se han encontrado este gneiss discordante en varios puntos. La superposición de la roca cristalina á la Oolita puede también en algunos casos referirse á una inversión de la posición original de los lechos al través de una región en que las convulsiones se han verificado con tan gran desarrollo.

También sobre el Sattel, en la base del Gestellhorn, mas arriba de Enzen, en el valle de Urbach, cerca de Meyringen, algunas de las intercalaciones del gneiss en el seno de las capas fosilíferas parece que deben ser atribuidas á una alteración mecánica. Casi toda hipótesis de cambios repetidos de posición es admirable en una región en que la confusión llega á un grado extremo. Las capas secundarias pueden haber sido en un principio verticales, y en tal caso ciertas porciones haberse vuelto metamórficas (viniendo de abajo la influencia plutónica), mientras que otras permanecieron intactas. La serie entera de los lechos ha sido quizá después colocada de nuevo en una posición casi horizontal y de aquí la hipótesis de formaciones cristalinas que cubren rocas fosilíferas.

Segun la observación que hemos hecho en el capítulo XXXIV, las rocas hipógenas, estratificadas ó no estratificadas, que han cristalizado primitivamente á cierta profundidad debajo de la superficie del suelo, han debido siempre, antes de ser elevadas ó de manifestarse en la superficie, contar un largo período comparativamente á un gran número de rocas fosilíferas y volcánicas. Se han producido en todas las edades; pero para hacerse visible, cada una de ellas ha sido

en un principio elevada sobre el nivel del mar, y algunas de las masas que las cubren han sido acarreadas por la desnudación.

En el Canadá, las hileras fosilíferas de la formación Cambriana reposan en estratificación discordante sobre el gneiss; ahora bien, este era evidentemente cristalino antes del depósito del gres Cambriano (de Postant). En la isla de Anglesea, como hemos dicho en otra parte, y segun Ramsay, el metamorfismo de los esquistos se ha verificado durante el período del Siluriano Inferior. Si se agregan estas conclusiones al hecho de que una testura hipógena se ha apoderado, al través de los Alpes, de los depósitos del Eóceo Medio, no se dudará de que mas tarde los geólogos lleguen á descubrir esquistos cristalinos de casi todas las edades en la serie cronológica, aunque la cantidad de las rocas metamórficas visibles en la superficie de la, por las razones que hemos explicado anteriormente, disminuir con rapidez entre los monumentos de épocas mas y mas recientes.

ORDEN DE SUCESION DE LAS ROCAS METAMÓRFICAS. No hay un orden universal é invariable de superposición para las rocas metamórficas, sino solamente una disposición particular que puede prevalecer al través de las comarcas de una vasta extensión, y que se determina por medios semejantes á los empleados en la clasificación de las diversas formaciones sedimentarias, origen natural de las capas cristalinas. Por ejemplo, hemos visto en los Apeninos, cerca de Carrara, la serie descendente ofrecer, en los puntos en que es metamórfica, primero un mármol sacaroideo, en seguida un talesquisto, después cuarzo en roca y gneiss, y hacia los parajes en que no existía alteración, hemos observado en primer lugar una caliza fosilífera, después un esquisto arcilloso, y finalmente un gres.

Pero en la mayor parte de las cordilleras montañosas, los gneiss, micasquisto, esquisto anfibólico, clorito esquisto, caliza hipógena y otras rocas se suceden entre sí y alternan siguiendo toda especie de orden. Se encuentran mas habitualmente, es verdad, ciertas variedades de esquisto arcilloso en la parte superior de la serie metamórfica; sin embargo, este hecho no implica en manera alguna, como algunos geólogos han creído, que todo esquisto arcilloso se hubiera formado hacia el fin de cierto período en el que el depósito de las capas cristalinas hubiera sido seguido de la acumulación de los estratos fosilíferos ordinarios. En realidad, los esquistos arcillosos varían por su composición, y algunas veces alternan con las hileras de fósiles, se puede, pues, referirlos casi tan bien al orden de las rocas sedimentarias como al de las formaciones metamórficas. Es probable que si hubiesen sido sometidos á una acción plutónica mas intensa, habrían pasado al estado de esquisto anfibólico, de clorito-esquisto hojoso, de talesquisto en pajillas, de micasquisto ó de otras rocas mas completamente cristalinas tales como las que se ven frecuentemente asociadas al gneiss.

UNIFORMIDAD DEL CARÁCTER MINERAL EN LAS ROCAS HIPÓGENAS. Es completamente cierto como Humboldt ha tenido la feliz ocasión de observar, que cuando se pasa de un hemisferio á otro, se ven aparecer formas nuevas de animales y de plantas; ademas se observan constelaciones diferentes en el firmamento; pero en cuanto á las rocas son las mismas; recuerdan todas antiguos conocimientos, tales como granito, gneiss, micasquisto, cuarzo en roca y otras varias. Existe sin duda alguna gran semejanza entre las principales variedades de rocas hipógenas en todos los países, por diferentes que sean en edad; pero deben ser consideradas cada cual segun hemos demostrado como familias geológicas y no como combinaciones minerales definidas. Su aspecto es mucho mas uniforme que el de las capas sedimentarias, porque estas últimas se hallan frecuentemente compuestas de fragmentos que

varían mucho en tamaño, forma y color, contienen fósiles de especies y composición diferentes, y adquieren tintas variadas por la mezcla de diferentes calidades de sedimento. Los materiales de estas capas, si se les hiciera fundir y cristalizar, obedecerían á leyes químicas simples y uniformes en su acción y las mismas en cada clima, escaparían completamente á las causas mecánicas y orgánicas.

Sería un grave error pretender, con ciertos geólogos, que las rocas hipógenas consideradas como agregados de minerales simples, son realmente mas homogéneas en su composición que los diferentes miembros de la serie sedimentaria. En primer lugar, los países diferentes contienen grupos desemejantes de rocas hipógenas; en segundo lugar, cada distrito determinado puede presentar rocas que designadas con un mismo nombre, son sin embargo muy variables en cuanto á sus elementos constitutivos, por lo menos en cuanto á las proporciones de estos elementos. Por ejemplo, el gneiss y el micasquisto, tan característicos de los Grampianos por su abundancia, faltan en el Cumberland, las Gales y el Cornwall; en ciertas partes de la Suiza y de los Alpes italianos, el gneiss y el granito son talcosos y no micáceos como en Escocia; la hornblenda (anfíbol) distingue especialmente al granito de Escocia; la turmalina al del Cornwall; la albíta es propia de las rocas plutónicas de los Andes, y el feldspato comun (ortosa) de las de Europa. En ciertas localidades de Escocia, el micasquisto está lleno de granates; en otras se halla enteramente desprovisto de estos cristales; en la América del Sur, segun Darwin, el gneiss y no el micasquisto es ordinariamente granatífero. Y no solamente las proporciones de feldspato, cuarzo, mica, hornblenda y otros minerales varían en el seno de rocas hipógenas que se suponen sin embargo idénticas, sino que también, hecho mas capital, la naturaleza misma de los elementos se manifiesta inconstante en ellas como ya hemos tenido ocasión de ver.

¿POR QUÉ LAS CAPAS METAMÓRFICAS SON MENOS CALIZAS QUE LOS ESTRATOS FOSILÍFEROS? Hemos manifestado que la cantidad de materia caliza en los lechos metamórficos y aun en las formaciones hipógenas en general, es mucho menor que al través de los depósitos fosilíferos. Por ejemplo los esquistos cristalinos de los Grampianos en Escocia, que consisten en gneiss, micasquistos, esquisto anfibólico y otras rocas desarrolladas en algunos miles de metros de espesor, contienen una porción infinitamente pequeña de capas calizas, aunque estas hayan sido en el país objeto de activas investigaciones para un fin económico. Sin embargo la caliza no falta de una manera absoluta en los Grampianos; en ciertos puntos de ellos se encuentra asociada al gneiss, en otros al micasquisto, y en algunos á diferentes miembros de la serie metamórfica. Pero cuando abunda, en Carrara por ejemplo, y otras partes de los Alpes donde se manifiesta en relación con las rocas hipógenas, constituye habitualmente uno de los miembros superiores del grupo cristalino.

La rareza del carbonato de cal en el seno de las rocas plutónicas y metamórficas parece generalmente haber resultado de alguna causa universal. En la época en que se consideraban las rocas hipógenas como anteriores á la creación de los cuerpos organizados era fácil atribuir la ausencia de la cal á la no existencia de los moluscos y zoófitos que segregan las conchas y los corales; pero hoy que se refieren las formaciones cristalinas á la acción plutónica es natural preguntar si esta acción misma no ha debido expulsar el ácido carbónico y la cal de los materiales que ha reducido al estado de fusión ó semifusión. Es verdad que no se puede descender hasta las regiones subalternas donde se desarrolla el calor volcánico, pero se observan en los países de volcanes apagados centenares de

fuentes frías ó termales que manan del granito ó de otras rocas, y se hallan muy cargadas de carbonato de cal. La cantidad de materia caliza que estas fuentes conducen despues de algun tiempo de las mayores profundidades de la costra terrestre á las divisiones mas superiores ó mas modernamente formadas, esta cantidad, decimos, debe ser considerable.

Si la proporcion de elementos silíceos y aluminosos ofrecidos por dichas fuentes, fuera tan grande como la de los principios calizos, en lugar de manifestarse comparativamente insignificante, se podria negar á la materia mineral así arrojada un origen debido á la descomposicion de rocas subterráneas ordinarias; pero segun el predominio tan marcado del carbonato de cal sobre todos los demás elementos, la costra terrestre debe con el tiempo perder casi la totalidad de los componentes calizos de sus partes inferiores; por el contrario, continúa sin duda presentando diariamente en nuevos depósitos en el fondo de los mares y lagos un exceso de carbonato de cal. Este compuesto llega á la superficie del suelo por millares de fuentes y de rios, y así toda nueva roca caliza precipitada químicamente, lo mismo que un gran número de arrecifes conchíferos ó coralinos que se forman en nuestros dias, proceden en parte de la sustancia mineral producida por la accion plutónica, y arrojada por el gas ó el vapor fuera de las rocas fundidas que hierven en las entrañas de la tierra.

No solo carbonato de cal, sino tambien gas ácido carbónico libre, sale en abundancia del suelo y de las hendiduras subterráneas, en las regiones de volcanes activos ó apagados, por ejemplo, en las cercanías de Nápoles y en Auvernia. Por otra parte las conchas ó corales fósiles han perdido frecuentemente su ácido carbónico y la cal que quedaba ha entrado quizá en la composicion de la augita, de la hornblenda, del granate y de otros minerales hipógenos. Se observan ejemplos muy frecuentes de materia caliza así desprendida; los restos orgánicos se hallan frecuentemente reemplazados por sílice ú otras sustancias minerales; algunas veces tambien el espacio ocupado en otro tiempo por el fósil se ha quedado vacío, ó no se encuentra representado sino por una impresion poco marcada. No debe, pues, causar admiracion la ausencia general de estos restos en el seno de las capas cristalinas: recordemos la alteracion frecuente total ó parcial de los fósiles aun en las formaciones terciarias; las grandes masas de gres ó de esquisto, de diferentes edades y de millares de metros de potencia desprovistas de cuerpos organizados, ciertas capas privadas de una parte de sus petrificaciones, que quizá han perdido al volverse cristalinas, ó segun la expresion de Werner, al pasar al estado de rocas de *transicion*; y en fin la destruccion de los últimos vestigios de seres animados en el seno de los estratos francamente *metamórficos*. Las formaciones que llevan este último epíteto han sido ademas sometidas algunas veces á renovaciones reiteradas de la accion plutónica.

CAPITULO XXXVIII.

VENAS MINERALES.

El modo de distribucion de las sustancias metálicas al traves de la costra terrestre, y mas especialmente el fenómeno de esas masas casi verticales y tabulares de mineral, llamadas venas minerales, que suministran la mayor parte de los metales útiles al hombre, son aquí objeto de una elevada importancia práctica y de un interés capital bajo el punto de vista teórico.

Las ideas que en un principio se han adoptado sobre las venas metálicas, han sufrido modificaciones, ó mas bien han experimentado una revolucion casi

completa á contar desde mediados del siglo último, época en que Werner, director de la Escuela de Minas de Freyberg en Sajonia, intentó el primero generalizar los hechos conocidos hasta entonces. Este sábio enseñó que las venas minerales han sido hendiduras originalmente abiertas, mas tarde gradualmente invadidas por materias cristalinas y metálicas; que gran número de entre ellas, despues de haberse llenado una vez, se han vuelto á ensanchar y abrir de nuevo. Hizo asimismo notar la circunstancia particular de que las venas no se refieren todas á un mismo y único período, sino que son de edades geológicas diferentes.

Estas opiniones, de las que existian ya algunos gérmenes en obras mas antiguas, no habian sido sin embargo todavía adoptadas generalmente; desde el momento que fueron emitidas por una autoridad tan poderosa y de experiencia tan consumada, hicieron época en la geología. Sin embargo se ha demostrado, al trazar en detalle la historia y los progresos de la geología, que Werner habia sido mucho tiempo antes precedido por otros geólogos, respecto á su teoria de las rocas volcánicas, y que se quedó muy atrás respecto de su contemporáneo Hutton en las investigaciones sobre el origen del granito. Segun Werner, las formaciones plutónicas, así como los esquistos cristalinos, habrian sido sustancias precipitadas de un fluido caótico, en la época de ciertas condiciones primitivas ó nacientes del planeta; los metales por consiguiente, hallándose íntimamente relacionados con las relaciones anteriores, habrian participado de este origen misterioso. Segun el mismo autor, las rocas trapeanas habrian resultado de depósitos acuosos, y los diques de pórfido, de greenstone y de basalto, indicarían hendiduras que habian recibido de arriba sus diferentes materiales. Consecuente á estos primeros principios, Werner admite que las venas minerales han sacado sus elementos constitutivos de un Océano subyacente mas bien que de una fuente subterránea; que estos elementos han sido primero disueltos en aguas que existian encima en lugar de elevarse por la sublimacion de lagos ó de mares situados debajo.

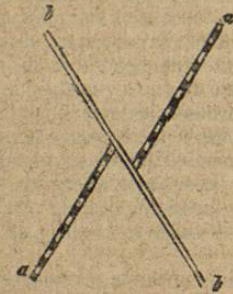
Pero la hipótesis de un fluido primordial ó *menstruo caótico* empezó á perder favor en presencia de las nuevas concepciones, y los geólogos no tardaron en ser de un mismo parecer acerca de las verdaderas relaciones que existen entre las rocas volcánicas y trapeanas; se comprendió por fin que los fenómenos de las venas minerales podian explicarse por causas conocidas, por ejemplo, las de la accion química, termal ó eléctrica que se ejerce aun en nuestros dias en el interior de la tierra. El lector encontrará mas fácilmente los argumentos favorables á esta opinion cuando hayamos descrito y comentado los hechos descubiertos por los trabajos de las minas.

SOBRE LAS DIFERENTES CLASES DE VENAS MINERALES. Los geólogos conocen todos perfectamente esas venas de cuarzo, que abundantes en el seno de las capas hipógenas, forman en ellas masas lenticulares de una extension limitada. Estas venas atraviesan tambien algunas veces los gres y los esquistos. Se observan fajas semejantes, compuestas de carbonato de cal, en el seno de rocas fosilíferas, sobre todo calizas. Parecen haber sido en otro tiempo hendiduras ó cavidades estrechas, producidas como las grietas en la arcilla por la contraccion de la masa al pasar del estado fluido al estado sólido, ó simplemente descendiendo de temperatura. La sílice, la caliza y á veces los metales, han penetrado juntos ó aisladamente á lo largo de estos espacios vacíos, despues de haberse escapado de las rocas inmediatas por exfiltracion, ó como se dice, por segregacion. Mezcladas con agua ó vapor, los minerales metálicos han debido pasar primero al través de una ganga pastosa, antes de llegar hasta estos re-

ceptáculos formados por la contraccion, y dar origen á estos conjuntos irregulares de venas, á que los alemanes dan el nombre de *Stockwerks*, por alusion á las diferentes alturas á que se dirigen entonces los trabajos de mina.

Las venas mas ordinarias ó regulares, se explotan habitualmente en fajas verticales; evidentemente fueron en otro tiempo hendiduras producidas por accion mecánica. Se las ve atravesar toda especie de rocas, hipógenas y fosilíferas, y se prolongan inferiormente á profundidades indefinidas ó desconocidas. Se puede presumir que son de origen semejante al de las hendiduras producidas de tiempo en tiempo por los sacudimientos de temblores de tierra. Las venas metalíferas que se pueden referir al mismo género de accion, tienen á veces algunos milímetros de anchura, pero mas comunmente 0,90 ó 1,20 del mismo diámetro. Prosiguen su marcha de una manera continua, siguiendo cierta direccion que prevalece en muchos kilómetros y aun en leguas de longitud pasando al través de las rocas variables por su composicion mineral.

LAS VENAS METALÍFERAS HAN SIDO HENDIDURAS. Mineros muy inteligentes no han podido llegar, aun despues de un estudio detenido de las venas metalíferas, á hacer convenir algunos de los caracteres de estas con la hipótesis de las hendiduras; empezaremos, pues, por establecer los argumentos que militan en favor de esta hipótesis. Uno de los mas convenientes, quizá, es la coincidencia de un número considerable de venas minerales con los *fallos*, es decir, con esas dislocaciones de rocas que son incontestablemente debidas á la fuerza mecánica, como hemos demostrado en otro lugar. Existen al través de casi todo distrito minero, pruebas de una sucesion de *fallos*, por los cuales las paredes opuestas de hendiduras hoy dia llenas de sustancias metálicas han experimentado mudanzas. Por ejemplo, supongamos que *aa* indican un



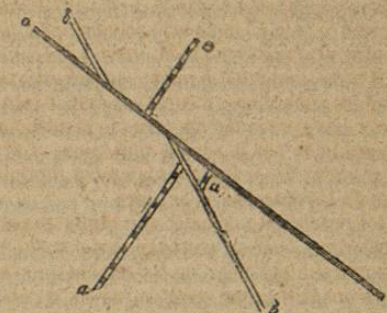
filon de estaño de Cornwall (se ha dado el nombre de filon, en inglés *ledo*, á las venas que contienen minerales metálicos). Este filon que corre de Este á Oeste, tiene unos 0,90 de anchura, y se encuentra cortado por otro filon de cobre *bb* del mismo espesor.

La primera hendidura *aa*, ha sido llena por diferentes materiales en parte de origen químico, tales como cuarzo, espato fluor, peróxido de estaño, sulfuro de cobre, piritas arsenical, bismuto y sulfuro de níquel, y en parte de origen mecánico, como arcilla y fragmentos angulares ó restos de las rocas cortadas. El cuarzo y el mineral son en algunos puntos paralelos á las paredes verticales del filon, y separados uno de otro por fajas alternativas de arcilla ó mas bien de materia terrosa. A veces el mineral se halla diseminado en masas pequeñas á lo largo de la ganga del filon. Es claro que despues de la introduccion gradual del estaño y de otras sustancias, la segunda hendidura *bb* se ha abierto por una segunda fractura acompañada de un cambio de posicion de las rocas á lo largo del plano *bb*. Esta nueva solucion de continuidad se ha llenado de minerales, algunos de los cuales se

parecen á los de *aa*, por ejemplo, de espato fluor (fluoruro de calcio) y de cuarzo; otras son diferentes; el cobre se hace abundante; el estaño por el contrario disminuye y aun no se encuentra sino muy raro.

Supongamos que una sacudida de temblor de tierra viene ahora á agitar este depósito, rompiendo y empujando juntos todos los restos á lo largo de la línea *cc*: la hendidura que no presenta mas que 0,45 de ancho, se llenará solamente de arcilla, procedente sin duda del roce de las paredes ó resultante quizá tambien de una infiltracion venida de arriba. Este nuevo movimiento levantará la roca de manera que interrumpirá la continuidad del filon de cobre *bb*, y al mismo tiempo hará deslizar lateralmente siguiendo la misma direccion una porcion del filon de estaño que no habia sido rota en un principio.

En la figura siguiente se ve que una cuarta hendidura *dd* igualmente llena de arcilla, ha atravesado la



vena delgada de estaño *aa*, y la ha alzado ligeramente hacia el Sur. Los diferentes cambios que representan esas tres figuras, no son puramente imaginarios, sino que existen de hecho en un corte que presentan las labores hace tiempo abandonadas de una antigua mina del Cornwall, llamada Huel Peever, en la parroquia de Redruth; este corte ha sido descrito por Williams y Carne. El movimiento principal de que aquí se trata, ó el de *cc*, se extiende en una longitud que no tiene menos de 24 metros, pero en este caso como en los otros tres, los caracteres geográficos de la comarca situada encima *d, c, b, a*, etc., no han sido afectados por ninguna de las dislocaciones, como lo demuestra la poderosa desnudacion que ha surcado el suelo posteriormente á los *fallos*. Se admite vulgarmente en el Cornwall que existen en esta comarca ocho sistemas distintos de filones, pertenecientes á otros tantos movimientos ó fracturas sucesivas, y los números de las montañas de Hartz hablan tambien de ocho sistemas de filones correspondientes á otros tantos períodos diferentes.

Ademas de las pruebas que dan de la accion mecánica, segun hemos ya establecido, las paredes opuestas de los filones estan frecuentemente pulimentadas y como barnizadas; muchas veces tambien se las ve estriadas y atravesadas de surcos y de prominencias paralelas, tales como las que produciria un roce continuo sobre superficies de desigual dureza. Tales caras pulimentadas se aparecen al plano de una roca, por donde una nevera hubiera avanzado; son comunes aun en los casos en que no haya habido deslizamientos y se las encuentra igualmente en las hendiduras no metalíferas. Los mineros ingleses las llaman *slickensides*, segun las palabras alemanas *Schlichten*, que quiere decir plano, y *Seite*, lado. Se admite que las líneas de estrias indican la direccion, segun la cual se ha operado el movimiento de la roca. Por efecto de un débil temblor de tierra ocurrido en Chile hacia el año 1840, y que ha sido descrito por un testigo ocular, los muros de ladrillo de un edificio se rajaron verticalmente en algunos puntos y experimentaron un movimien-