

los seres vivos sobre la tierra, las cuales sin embargo en ciertos puntos se hallan completamente desprovistas de vestigios de cuerpos organizados. En algunas de ellas, los fósiles han sido borrados por el agua y los ácidos en varias épocas sucesivas; es claro entonces que en la capa mas antigua es donde hay menos probabilidad de encontrar fósiles, aun suponiendo que esta capa haya escapado á toda accion metamórfica.

Se ha objetado tambien á la teoria del metamorfismo, que la composicion química de los estratos secundarios, se diferencia esencialmente de la de los esquistos cristalinos que habrian resultado de su transformacion. Los esquistos primarios se ha dicho, contienen habitualmente una proporcion considerable de potasa ó de sosa, que no han podido darles las arcillas secundarias y los esquistos, siendo estos últimos el resultado de la descomposicion de rocas feldspáticas de las cuales la materia alcalina se ha separado durante los progresos de la descomposicion. Pero este razonamiento se apoya en una base poco fundada y engañosa, porque un gran número de variedades de rocas que hay la costumbre de llamar esquistos, marga, arcilla, esquistos arcillosos y arcilla esquistosa, contienen cierta proporcion de álcali, y aun algunas veces una cantidad considerable, de tal manera, que es difícil en muchos países encontrar arcilla ó esquistos arcillosos bastante libres de elementos alcalinos para poder usarse en alfarería.

Las arcillas y esquistos arcillosos del Viejo Gres Rojo, en el Forthshire y en otras partes de la Escocia, se hallan tan cargadas de álcali procedente de feldspato triturado, que frecuentemente, en lugar de endurecerse al fuego, se funden en vidrio. No contienen cal, sino que parecen compuestos de granos muy finos de diferentes elementos del granito, que se distinguen en medio de las variedades mas groseras y de la mayor parte de los gres que alternan con estas últimas. Estas arcillas y esquistos arcillosos hojoscas, se parecerian ciertamente por la composicion si cristalizaran á varias de las capas primarias.

Existe tambien potasa en los restos de vegetales fósiles, y sosa en las sales de que los estratos se hallan á veces muy impregnados en Patagonia. En fin, análisis recientes han demostrado que las capas carboníferas en Inglaterra, los Silurianos Superior é Inferior en el Este del Canadá, y los esquistos arcillosos en Noruega, contienen tanto álcali como las rocas metamórficas en general.

Otra objecion se ha deducido de la alternativa de capas muy cristalinas con otras que lo eran menos. El calor, se ha dicho, en su movimiento ascensional, debe haber atravesado los esquistos menos alterados antes de llegar á los lechos que son hoy los mas cristalinos. Para responder á esta objecion, diremos primero que un cierto número de hiladas muy diferentes una de otra por su composicion y que acabaran de ser sometidas á una intensidad igual de calor, no mostraran segun toda probabilidad el mismo grado de fusibilidad relativa. Las unas por ejemplo, contendran potasa, sosa, cal ú otros elementos capaces de obrar como flujo; otras estaran desprovistas de estos mismos elementos; y por consiguiente se mostrarán tan refractarias, que seran muy poco afectadas por la cantidad de calórico suficiente para reducir otras rocas al estado de semi-fusion. Tampoco debe perderse de vista, que en tesis general, las masas menos cristalinas se encontraran mas bien en la parte superior, y las mas cristalinas al nivel inferior de cada serie metamórfica.

Ademas, el metamorfismo ha debido frecuentemente ejercer su fuerza mucho tiempo despues de que las capas hubieran adquirido su posicion vertical; del mismo modo puede obrar hoy en una esfera mas reducida, y continuar su influencia sobre los nuevos lechos, asi como sobre los antiguos. Para probar la

conversion parcial en gneiss de ciertas porciones de capas muy inclinadas, citaremos la Memoria de Murchison sobre la estructura de los Alpes. Esquistos que se designan en el país con el nombre de *Frichs*, y que se hallan sobrepuestos á la caliza nummulítica de edad Eocena, y ademas de estos esquistos algunas listas arenáceas y otras calizas, alternan un gran número de veces con hiladas de roca granitoidea análoga por sus caracteres al gneiss. En este caso particular, el calor, ó el vapor, ó el agua á una temperatura sumamente elevada, han atravesado quizá las capas mas permeables, y las han alterado hasta el punto de determinar un movimiento interior y una nueva disposicion de moléculas; las capas adyacentes no han dado paso á los mismos agentes, ó si les han dejado el camino libre, por lo menos no han sufrido su influencia; no contenian materiales tan fusibles. Cualquiera que sea la hipótesis que se adopte, los fenómenos establecen incontestablemente la posibilidad del desarrollo de la estructura metamórfica en un depósito terciario siguiendo las juntas paralelas á la estratificación.

Que este paralelismo sea la regla, ó que no se deba aceptar sino como una excepcion para el gneiss y para el micascuito ú otras formaciones de la misma familia, es una cuestion importante que trataremos detalladamente en el capítulo inmediato.

## CAPITULO XXXVI.

### ORIGEN DE LAS ROCAS METAMÓRFICAS.

(Continuacion.)

HEMOS visto ya que se han ejercido frecuentemente fuerzas cristalinas de gran intensidad sobre capas sedimentarias y fosfóricas mucho tiempo despues de su consolidacion, naturalmente se preguntará aquí si los minerales componentes de las rocas alteradas se disponen abitualmente en un sentido paralelo á los planos originales de estratificación, ó bien si despues de la cristalización han tomado mas ordinariamente otra posicion.

Para comprender mejor todo el alcance de esta cuestion, conviene aprender primero á distinguir bien las palabras *exfoliacion* y *division en hojas*. Se cuentan cuatro géneros distintos de estructura de las rocas á saber: la estratificación, las juntas, la exfoliacion esquistosa (esquistosidad) y las hojas; estos cuatro géneros exigen nombres particulares aunque en ciertos casos, aun despues del estudio mas atento, sea posible decir á qué clase pertenece cada uno de ellos.

El profesor Sedgwick, cuyo ensayo sobre la estructura de grandes masas minerales ha derramado mucha luz sobre este oscuro asunto, establece que las juntas se distinguen de las líneas de *exfoliacion esquistosa* en que una roca que interviene entre dos juntas, no presenta tendencia á exfoliarse en una direccion paralela á los planos de estas, mientras que es susceptible de subdivisiones hasta lo infinito en el sentido de su exfoliacion esquistosa particular. En algunos casos en que las capas son curvas, los planos de exfoliacion se muestran aun perfectamente paralelos. Un ejemplo se observa en las rocas esquistosas de una parte de las Gales; estas rocas consisten en un esquistos duro y verdoso. El verdadero sentido de las capas de esta localidad, está indicado por un gran número de fajas paralelas, unas mas oscuras y otras mas claras que el tinte general de la masa. Estas fajas concuerdan con los verdaderos planos de estratificación donde quiera que estos se manifiestan en ondulaciones ó lechos que contienen cuerpos orgánicos particulares. Algunas de estas capas contorneadas, presentan una estructura mecánica grosera, y alternan con esquistos cloríticos cristalinos de granos fi-



Planos paralelos de exfoliacion que cortan capas encorvadas.

nos; entonces la misma exfoliacion esquistosa atraviesa los lechos mas groseros como los mas finos, con tanta mas limpieza cuanto mas ténues y homogéneos son los materiales que componen la roca. Solo en el caso de elementos enteramente groseros, los planos de exfoliacion desaparecen completamente. Estos planos se inclinan de ordinario en un ángulo muy agudo relativamente al de las capas. En los Welsh (colinas así llamadas), el valor medio de la incidencia, es apenas 30 ó 40 grados. Algunas veces los planos de exfoliacion se inclinan hacia el mismo punto de la brújula que los de estratificación; pero mas frecuentemente es en direcciones opuestas. Se puede establecer la regla general siguiente: cuando lechos de materiales groseros alternan con otros lechos compuestos de partículas mas finas, la exfoliacion esquistosa se encuentra limitada á estos últimos, ó no se manifiesta sino imperfectamente en los primeros. Y esta regla es verdadera, ya sea la exfoliacion paralela ó no á los planos de estratificación.

En cuanto á las juntas, son hendiduras naturales que frecuentemente atraviesan las rocas en líneas rectas y perfectamente marcadas. Ofrecen al cantero, como lo observa Murchison, hablando del fenómeno tal como se presenta en el Sherpshire y en los condados inmediatos, ofrece decimos, el mas útil socorro al minero para conducir la extraccion de los peñascos, y si un número suficiente de juntas se cruzan unas á otras, la masa entera de la roca se separa en porciones simétricas. Las caras de las juntas son igualmente mas unidas y mas regulares que las de los verdaderos estratos. Las juntas son hendiduras estrechas frecuentemente un poco abiertas que pasan en su mayor parte no solo al través de depósitos sucesivos estratificados, sino que tambien dividen masas redondeadas de caliza ó de otras materias que se han formado por via de concrecion posteriormente á la acumulacion de las capas. Las juntas por consecuencia se han producido probablemente por efecto de uno de los últimos cambios que debieron sufrir los depósitos sedimentarios.

En el diagrama (fig. 560), las superficies planas A, B, C representan porciones expuestas de juntas, á las cuales son paralelas las caras de otras juntas J, J; S, S son las líneas de estratificación; D, D las de exfoliacion esquistosa que cortan en ángulo agudo los planos de estratificación.

En los Alpes de la Saboya y de la Suiza, como lo ha observado Bakewell, se ven estrechas soluciones de continuidad casi verticales que cortan regularmente grandes masas calizas; las juntas son allí á veces mucho mas sensibles que las divisiones de la estratificación, y un geólogo poco experimentado las confunde casi inevitablemente; supone que las capas son perpendiculares, en puntos en que no obstante se dirigen casi horizontalmente.

Ahora bien, se ha creído ver en estas juntas divisiones análogas á las que separan las rocas volcánicas y plutónicas en masas prismáticas ó cuboideas. Se observa en pequeña escala, que la arcilla ó el almidon se dividen al secarse en formas parecidas; la causa es debida frecuentemente á una simple contraccion, ya proceda de la evaporacion del agua, ya dependa de un cambio de temperatura. Un hecho hay perfectamente conocido, y es, que diferentes gres y

otras rocas, se dilatan bajo la influencia de una elevacion moderada de temperatura, y despues se contraen por el enfriamiento; sin duda alguna tambien, grandes porciones de la costra terrestre, han sido sometidas durante el curso de las edades á condiciones muy variables de calor y de frio. Estas alternativas de temperatura han contribuido probablemente, en grandes proporciones, á la produccion de juntas al través de las rocas.

En algunas comarcas, por ejemplo en Sajonia, donde las masas de basalto reposan sobre el gres, la roca acuosa ha tomado hasta alguna distancia de varios centímetros partiendo del punto de union, una estructura columnaria semejante á la del trapp. Del mismo modo ciertas masas expuestas al calor de un horno; pero sin esperar el punto de fusion, no han dejado de volverse prismáticas. Algunos cristales adquieren tambien, bajo la influencia del calor, otra disposicion molecular; se esfolian en una nueva direccion, permaneciendo su forma exterior la misma.

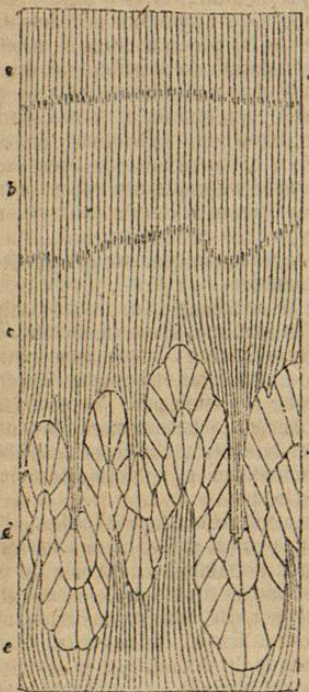
El profesor Sedgwick, hablando de los planos de exfoliacion esquistosa cuando son decididamente distintos de los de sedimentacion, declara en la obra que ya hemos citado, que segun su opinion, ni el encogimiento de las partes, ni la contraccion en las dimensiones de las rocas que pasan al estado sólido, pueden explicar el fenómeno. Se atribuye, pues, a fuerzas cristalinas ó polares que obran simultáneamente y con bastante uniformidad, siguiendo direcciones determinadas, en grandes masas de composicion homogénea.

En cuanto á la exfoliacion esquistosa, John Herschell cree que «rocas calentadas á un grado suficiente para empezar á cristalizar, es decir, elevadas á una temperatura que permite á las partículas moverse, al menos cada una alrededor de su eje, tales rocas deben obedecer á alguna ley general que determine la posicion en que las partes finas se agruparon al enfriarse. Probablemente esta posicion tendrá ciertas relaciones con la direccion del calor. Ahora bien, cuando todas ó casi todas las moléculas de una misma naturaleza manifiesten una tendencia general á una disposicion de este género, debe tener origen un sentido particular de exfoliacion. Así es como vemos cristales infinitamente pequeños recientemente precipitados de sulfato de barita ó de otras disoluciones análogas, disponerse ellos mismos en el seno del fluido que les ha servido de vehículo; cuando despues se agita el depósito, se ven todos estos cristales brillar siguiendo una misma direccion paralela; parecen filamentos sedosos. Ciertas clases de jabones de margaratos insolubles presentan el mismo fenómeno en el agua. [Ahora bien, lo que nos ofrecen nuestros experimentos en pequeño debe igualmente reproducirse en la naturaleza en mayor escala.]

Segun las observaciones del profesor Phillips, conchas y trilobitos fósiles, en el seno de ciertas rocas esquistosas, habrian sido muy desfigurados en cuanto á sus contornos y torcidos en muchas direcciones. Este cambio, añade el mismo autor, parece haber resultado de un movimiento que ha extendido las partículas de la roca á lo largo de los planos de exfoliacion; su direccion es siempre uniforme en una misma localidad, y se puede en algunos casos medir la

extensión de la deformación que llega hasta 6 y aun 12 milímetros. Las conchas duras no son afectadas á no ser únicamente las mas pequeñas. El doctor Sharpe prosiguiendo el mismo género de investigaciones ha llegado á afirmar que las formas torcidas actuales de las conchas, en medio de varias rocas esquistosas en Inglaterra, pueden explicarse por la suposición de que estas rocas habrían sufrido una presión perpendicular á los planos de exfoliación y una expansión correspondiente en el sentido de inclinación del mismo género de división.

Más recientemente Sorby ha demostrado hasta qué punto es aplicable esta teoría mecánica á las rocas esquistosas de la Galles del Norte y del Devonshire, distritos en que se encuentran numerosas ocasiones de verificar y medir la extensión de los cambios, comparando los diferentes efectos que ha producido la presión sobre lechos alternativos de materiales más finos ó más gruesos. Se verá, por ejemplo en la presente figura que el lecho arenoso *d f*, cuya resis-



Corte vertical de esquistos en las quebradas de las cercanías de Ilfracombe, en el Septentrional.

*a, b, c, e*, Esquistos finos, cuya estratificación se distingue en parte por tintas más claras ó más oscuras, y en parte por grados diferentes de finura en los granos. *d, f*, Esquisto arenoso, de granos más gruesos, ligeramente coloreado, con exfoliación menos distinta.

tencia fue energética, ha sido sin embargo retorcido en ángulos muy agudos, mientras que las capas de grano fino *a, b, c* han permanecido comparativamente intactas. Los puntos *d* y *f* de la capa *d f* han debido hallarse en un principio cuatro veces más separados que lo que están hoy. Han sido, pues, fuertemente impedidos uno contra otro, parte por el doblegamiento, y parte por la prolongación, siguiendo la dirección de lo que puede llamarse los ejes más largos de torsión y también hasta cierto punto por la condensación. El resultado principal procede del doblegamiento; pero como prueba de la prolongación, haremos observar que el espesor del lecho *d f* es hoy unas cuatro veces mayor en las porciones que siguen la dirección principal de las flexiones que en las perpendiculares á esta dirección, y el mismo lecho presenta planos de exfoliación paralelos en el sentido del movimiento

más considerable, aunque estos planos sean mucho menos numerosos que al través de las capas esquistosas situadas encima y debajo.

Encima del lecho arenoso *d f* la capa *c* se halla un poco alterada, mientras que *b* lo está menos y *a* nada. Sin embargo, todas estas hiladas *c, b, a*, han debido experimentar una presión tan fuerte como *d*, puesto que los puntos *a, g* se hallan tan próximos uno á otro como *d, f*. Los mismos fenómenos se repiten con los lechos situados debajo de *d* como hubiera podido demostrarse prolongando el corte hasta más abajo. Parece pues que las hiladas de estructura más fina se han reducido á una cuarta parte del espacio que ocupaban anteriormente; tal resultado debe atribuirse, en primer lugar á la condensación ó aproximación de sus partículas más pequeñas, que explica el peso específico mucho mayor de estos esquistos, este resultado se debe además á la prolongación verificada siguiendo la línea de exfoliación, cuya dirección general es perpendicular á la depresión. «Estos casos y otros varios en el Devon septentrional, dice Sorby, son análogos á lo que sucedería si se suspendiera una tira de papel en el seno de una materia plástica y después se alteraran las relaciones y el valor de los diámetros de esta materia; comprimido el todo en la dirección de la longitud de la tira de papel, esta se doblaría ó se torcería, mientras que la materia plástica cambiaría de dimensiones sin experimentar las mismas torceduras, y la diferencia de distancia entre los extremos del papel, medida en línea recta ó diagonal, indicaría el cambio que habrían sufrido los diámetros de la materia plástica.»

El geólogo principiante comprenderá con facilidad cuándo la forma de un fósil, de un cristal, ó de una concreción esferoidea ha sido modificada por la influencia de una presión lateral, que los contornos exteriores nuevamente adquiridos sean diferentes según haya cedido á una ó varias direcciones: se han prolongado solo en el sentido en que se inclina la exfoliación, ó han obedecido á un impulso perpendicular á esta inclinación; finalmente, en algunos casos los dos movimientos han obrado á la vez. Por medio del examen de cristales muy pequeños con ayuda del microscopio y de otras observaciones demasiado minuciosas para enumerarse aquí en detalle, Sorby ha llegado á deducir, que la condensación absoluta de las rocas esquistosas puede llegar por término medio hasta la mitad próximamente de su volumen primitivo. Esta disminución debe atribuirse sobre todo á la aproximación de las partículas; por efecto de esta aproximación han desaparecido los vacíos que existían cuando las moléculas se hallaban en simple contacto. En último lugar la modificación se debe sin duda á la prolongación que ha producido la exfoliación esquistosa.

Casi siempre las pajillas de mica en ciertos esquistos se hallan, según el estudio que ha hecho de ellas Sorby, dispuestas en el sentido de exfoliación: mientras que en cualquier otra roca semejante; pero que no se divide de este modo, las laminillas micáceas no presentan el mismo género de dirección. ¿Su posición en medio de los esquistos no ha sido determinada por el movimiento de prolongación de que hemos hablado en otra parte? Para responder á esta pregunta Sorby imaginó un experimento: mezcló algunas laminillas de óxido de hierro con tierra de pipas blanda, cuidando de hacerles inclinarse en todas direcciones. En seguida modificó artificialmente las dimensiones de la masa en cantidad igual á la indicada por cambios análogos en las rocas esquistosas; después secó la tierra de pipas y la calcinó. Hecha esta última operación y habiendo intentado producir una superficie plana perpendicular á la presión y dirigida en el sentido de la línea de prolongación, observó que las partículas se habían dispuesto de la

misma manera que en los esquistos de la naturaleza, y que la masa había adquirido la facilidad de dividirse en hojas delgadas y planas en el sentido de la exfoliación, mientras que no cedía en un sentido perpendicular á esta. Este experimento nos autoriza á admitir que la divisibilidad laminar del basalto, del traquito y aun de algunas variedades de gneiss, así como de ciertos granitos, es debida á una causa mecánica, á un movimiento que se verificaría después del desarrollo de cristales en el seno de la masa pastosa.

Scrope, en su descripción de las islas Ponza, atribuye la estructura listada de la perlita de Hungría (traquito semivitreo), al aplanamiento que esta lava había sufrido obedeciendo á la ley de su propia pesantez, á lo largo de un plano ligeramente inclinado, cuando se hallaba todavía en un estado de fluidez imperfecto. En las islas Ponza y Palmarola la dirección de las zonas es más frecuentemente vertical que horizontal, porque la masa ha sido impelida de abajo arriba. Darwin atribuye también la estructura laminar y foliácea de diferentes rocas volcánicas de la serie traquítica, comprendiendo ciertas obsidias de la Ascension (Méjico) y otras localidades, movimientos que las dispondrían en forma de hojas cuando se hallaban aun líquidas. Las zonas consisten algunas veces en fajas pequeñas de celdillas estriadas y prolongadas en la dirección supuesta de la masa en movimiento. Compara esta división en zonas paralelas, que se ha producido así por la extensión de una masa pastosa, corriendo lentamente hacia abajo, á la estructura zonada ó listada de una nevera, que el profesor James Forbes ha explicado tan hábilmente por el resquebrajamiento de un cuerpo viscoso en progresión.

Cualquiera que sea la causa del fenómeno, el resultado, añade Darwin, no es menos digno de la atención de los geólogos; en una roca volcánica de la serie traquítica, en la Ascension, se ven muchas veces fajas de una tenuidad extremada, delgadas, por decirlo así, como hojas de papel, y de diferentes colores, alternar entre sí un número infinito de veces, algunas compuestas de cristales de cuarzo y de dipside (variedad de piroxena), otras salpicadas de manchitas negras augíticas, con granillos de óxido de hierro, y otras, en fin, llenas de feldspato cristalino. Es de suponer, en semejante caso, que la fuerza de cristalización se ejerció más libremente siguiendo la dirección de los planos de exfoliación que se produjeron cuando la masa pastosa se extendió, ya porque los vapores contenidos pudieron salir al través de hendiduras pequeñas, ya porque las menores moléculas se hallaron menos oprimidas en su movimiento á lo largo de los planos de menor tensión, ya en fin, por otras razones aun no explicadas.

Darwin, después de un estudio detenido de las rocas cristalinas de la América meridional, hecho en 1835, ha propuesto el nombre de *foliación* para indicar la divisibilidad en láminas ó placas de los gneiss, micasquisto y otras rocas semejantes. La palabra exfoliación, observa este geólogo debe aplicarse á esos planos divisionarios que hacen á una masa foliácea, aun cuando á la vista parece completamente homogénea ó poco menos. Se debe emplear la expresión de hojas para designar esas listas ó placas alternativas de la naturaleza mineral variada de que se componen los gneiss y diferentes rocas metamórficas. Los planos de exfoliación del esquisto arcilloso de la Tierra del Fuego y de Chile, conservan una dirección uniforme en extensiones de algunos centenares de kilómetros, en comarcas donde son enteramente distintos de la estratificación. En los mismos países los planos de las hojas del micasquisto y del gneiss, son paralelos á la exfoliación del esquisto arcilloso, de lo cual podría á primera vista deducirse que alguna causa común sin relación alguna con la sedimentación, ha impreso la exfoliación á uno de los grupos de

rocas, y la foliación al otro grupo. Pero semejante deducción no podría adoptarse legítimamente sino para los casos raros en que se puede probar por un corte continuo que no solo la dirección, sino también la inclinación de la exfoliación esquistosa por una parte y de las hojas por otra, coinciden de una manera absoluta; es necesario además la condición de que la exfoliación no sea paralela á la estratificación de la roca esquistosa. En algunos ejemplos citados por Darwin, y observados en la Tierra del Fuego, en las islas Chonos y en la Plata, la uniformidad de inclinación de la exfoliación esquistosa y de la foliación, es tan completa, que indudablemente viene en apoyo de la opinión de que tratamos. Pero es prudente precaerse contra el error siguiendo esta larga cadena de razonamientos. Hay un hecho incontestable, y es, que en la América meridional, como en otros países, la dirección de exfoliación del esquisto arcilloso concuerda con el eje de elevación de esta roca en los mismos distritos. De aquí se sigue, que las *hojas* de los gneiss, micasquisto, caliza y otras rocas cristalinas, y aun los de las hojas que no coinciden sino ligeramente con los planos de estratificación primitiva, corren en el sentido de la exfoliación esquistosa; en efecto, las verdaderas capas se inclinan siempre en ángulo recto respecto al eje de elevación, y le son paralelas en dirección. No se puede, por consiguiente, sacar de la uniformidad de las rocas esquistosas y foliáceas prueba alguna en favor de un origen común: es necesaria además la coincidencia de inclinación; ahora bien, es tan variable la inclinación de los esquistos y de las hojas, que este género de prueba es difícil de obtener.

Keilhau ha anunciado hace mucho tiempo, que las hojas de los esquistos cristalinos en Noruega, concuerdan generalmente con los planos originales de estratificación. Repetidas observaciones hechas por David Forbes en el mismo país (probablemente el más clásico de Europa para el estudio de ese género de fenómenos en grande escala), han confirmado la opinión de Keilhau; la inclinación de las hiladas silurianas y fosilíferas en los puntos en que pasan á las capas metamórficas, concuerda con la foliación de los gneiss, micasquisto y caliza cristalina que les son antiguos. Del mismo modo también en Escocia, el doctor Forbes ha señalado un caso notable en que el sentido de la división en hojas corresponde enteramente á las líneas de estratificación de las rocas; se observa este caso no lejos de Crianlorich, en el camino que conduce á Tyndrum, á unos 12 kilómetros de Inverarnon, en el condado de Perth. La misma localidad presenta una caliza azul, que forma hojas debidas á algunas pajillas de mica blanca, y muchas veces es difícil distinguir la roca por su aspecto de un gneiss ó de un micasquisto. La estratificación se compone de lechos gruesos y fajas coloreadas de caliza, inclinándose el todo, lo mismo que las hojas, en un ángulo de 35 grados hacia el Nordeste.

En las formaciones estratificadas de cada edad, existen fajas de arena penetradas ó desprovistas de mica, que alternan con arcilla, fragmentos de conchas y de corales ó venas delgadas de materia vegetal; se puede suponer que la atracción mutua de tales partículas, ha favorecido la cristalización del cuarzo, de la mica, del feldspato ó del carbonato de cal, mas bien á lo largo de los planos de acumulación original, que siguiendo los otros que forman ángulos de 20 ó 40 grados con el sentido de la estratificación.

Darwin ha observado en Patagonia, que ciertas fajas delgadas sedimentarias, se han vuelto porfídicas, á pesar de que primitivamente apenas estaban alteradas, lo cual se ha debido á un sistema particular de agregación; nidos pequeños de arcilla, parece que se han condensado de manera que han adquirido casi la forma de concreciones, y estas

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.

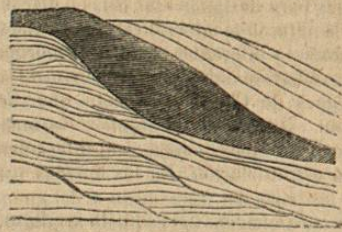
El doctor Sharpe ha creído poder afirmar, por las observaciones que ha hecho en los Highlands de Escocia, en 1851, que las hojas del gneiss y del micasquisto, son esencialmente paralelas unas á otras, pero no tienen relación alguna con los planos primitivos de estratificación; admite, además, que los 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 á 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 Gavarrie, 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 APENINOS.—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-