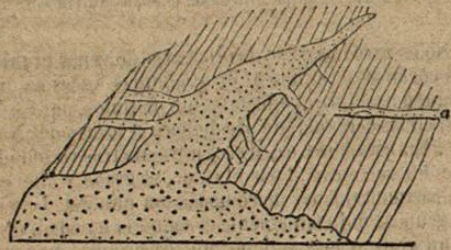


graníticas en el Cornwall. La masa principal de granito presenta aquí un aspecto porfiróideo, y tiene grandes cristales de feldspato; pero las venas tienen granos finos y están desprovistas de cristales de este género. Miden por término medio de 5 á 6 metros y algunas veces más.

En Valorsine, cerca del Monte Blanco, en la Saboya, un granito ordinario, compuesto de feldspato, cuarzo y mica, envía en diferentes direcciones venas al través de un gneiss talcoso (ó protogina estratificada); en algunos puntos se ven ramificaciones laterales que parten en ángulo recto del filon principal; las venas, especialmente las más pequeñas, se componen de elementos más ténues que la masa del granito.



Venas de granito en el gneiss talcoso.

Debe observarse que aquí el esquisto y el granito á medida que se aproximan uno á otro, parecen comunicarse una influencia recíproca, porque ambos sufren cambios en su composición mineral. El granito sin estar estratificado, contiene ya algunas partículas verdes, y el gneiss talcoso adquiere una estructura granitoidea sin perder su estratificación.

El profesor Keilhau ha indicado en la comarca de Cristiania, varias localidades en que el carácter mineral del gneiss parece haber sido afectado hasta cierta distancia del punto de contacto, por un granito de origen más reciente; el gneiss, sin haber perdido su estructura esquistoidea, se ha cargado de una cantidad considerable de feldspato más rojo que el mineral del mismo nombre que caracteriza al gneiss de Noruega.

El granito, la sienita y los pórfidos de estructura granitoidea, todas las rocas plutónicas, en una palabra, contienen frecuentemente metales en su punto de unión con las formaciones estratificadas ó cerca de este punto. Por otra parte las venas que recorren las rocas estratificadas son generalmente más metalíferas en el contacto que en todas las demás partes. De esto se ha deducido que los metales habían penetrado en forma gaseosa las masas fundidas, y que el contacto de una roca diferente á una temperatura igualmente distinta ó algunas veces la existencia de hendiduras en otras rocas de la inmediación, habían determinado la sublimación de los metales.

Se observan en Markerud, cerca de Cristiania en Noruega, diferentes casos en que la dirección de las capas no ha sido ni aun en grandes superficies alterada por la introducción del granito en masas ó en venas. Algunos geólogos han considerado este hecho como favorable á la teoría de la inyección del granito en un estado líquido. Pero se puede responder que varios diques ramificados de trapp, que hoy se considera que han estado líquidos en otro tiempo, atraviesan las mismas capas fosilíferas cerca de Cristiania, sin alterar su dirección ni su inclinación.

Algunos autores han creído que el aislamiento real ó aparente de masas grandes ó pequeñas de granito, desprendidas del cuerpo principal como se ve en *a b* en la presente figura y en algunas de las anteriores, es incompatible con la doctrina que vamos desembol-

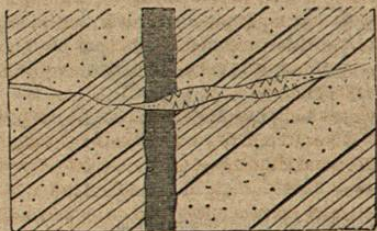
viendo acerca de las venas. Responderemos que varias de estas masas enclavadas, no son en realidad más que



Vista general de la unión del granito y del esquisto cristalino en Valorsina.

secciones transversales de prolongaciones radicales del granito; sin embargo, puede suceder que otras de estas masas sean verdaderamente porciones desprendidas de rocas de estructura plutónica, ó bien formen una especie de manchas en medio de las capas invadidas en los puntos en que existieron concentraciones de materias más fusibles que el resto de la pasta y de mayor aptitud para combinarse bajo la forma de granito.

El granito lo mismo que diferentes rocas estratificadas, se presenta muchas veces atravesado de venas de cuarzo puro, pero no se podrían seguir estas venas como las de granito ó de trapp hasta las masas de que dependen. En otro tiempo fueron simplemente hendiduras que se llenaron de la materia silicea. La infiltración, en algunos casos, se ha operado evidentemente después de la consolidación de la roca que las contiene. Porejemplo, se ha observado en el gneiss de Tronstad Strand, á lo largo de la playa, cerca de Drammen, en Noruega, el corte representado aquí.



*a, b*, Vena de cuarzo que atraviesa el gneiss y el greenstone; Tronstad Strand, cerca de Cristiania.

Las capas alternadas de gneiss granitoide blanquecino y de esquisto anfibólico negro, parecen haber sido en un principio cortadas por un dique de greenstone de unos 0<sup>m</sup>, 75 de espesor; y después se ha abierto la grieta *a b* que ha atravesado todas estas rocas y se ha llevado de cuarzo. Las paredes opuestas están en ciertos puntos tapizadas de cristales transparentes de cuarzo, y el centro de la vena está ocupado por cuarzo blanco, opaco, ordinario.

Hemos visto que las formaciones volcánicas habían recibido el nombre de *supra-yacentes*, porque no solamente penetraban las demás rocas sino que aun se sobreponean. Necker ha propuesto para los granitos, la expresión de rocas ígneas *subyacentes*; este último epíteto caracteriza bien la diferencia que ha querido indicar. Algunos de los primeros observadores, en verdad, han supuesto que el granito de Cristiania, en Noruega, se había introducido en las masas montañosas de aquel país, entre las capas primarias ó paleozoicas, de manera que ha llegado á cubrir los esquistos y calizas fosilíferas, pero aunque el granito envíe ra-

mificaciones en las rocas de fósiles, y que les sea decididamente posterior en edad, el profesor Keilhau ha negado en el caso actual su superposición en masa, y Lyell ha tenido ocasión de estudiar en 1837 esta cuestión tan debatida. Se observan en realidad en una pequeña escala en esta localidad, lechos de pórfido eurítico, de los cuales algunos miden varios decímetros, otros algunos metros de espesor, y penetran en el granito; merecen ser clasificados más bien como rocas plutónicas que como masas trapecanas; se puede aun realmente admitirlos como interpuestos en estratificación concordante en las capas fosilíferas; tales son los pórfidos *a c*, los cuales separan los esquistos



Pórfido eurítico alternado con capas fosilíferas primarias, cerca de Cristiania.

bituminosos y calizas arcillosas *ff*. Pero algunos de estos pórfidos son en parte discordantes como en *b*; hacen suponer que otros todavía á pesar de su apariencia de inter-estratificación, han sido necesariamente inyectados. Ciertas rocas porfídicas, que hemos mencionado anteriormente, son muy cuarzosas, y otras muy feldspáticas. A medida que la masa aumenta de volumen, adquiere una testura más granítica, una estratificación menos concordante, y empieza á enviar prolongaciones al través de las capas contiguas. En una palabra, es un magnífico ejemplo de la degradación que existe entre las rocas volcánicas y las masas plutónicas, no solo en cuanto á su composición mineral y á su estructura, sino también en cuanto á sus relaciones de posición con las formaciones que les están asociadas. Si se puede emplear aquí la expresión de *supra-yacentes*, para designar rocas plutónicas, no es sino en tanto que la roca empieza á adquirir un carácter trapecano.

Ya hemos hecho comprender cómo el calor que en todo volcán activo parte de profundidades indefinidas puede producir simultáneamente efectos muy diferentes cerca de la superficie del suelo ó á grandes distancias verticales de esta superficie. Ahora bien, no podría admitirse que rocas que resultan de la cristalización de materias fundidas bajo la presión de algunos miles de metros, deban parecerse á las formadas al aire ó no lejos de la película exterior. Así se explica la producción á niveles profundos de una clase de rocas análogas á las masas volcánicas; y sin embargo diferentes de estas bajo varios aspectos podíamos suponer el hecho aun antes de nuestra descripción de las formaciones plutónicas. Ahora ¿hasta qué punto concuerdan estas rocas, por sus caracteres positivos y negativos, con la teoría de su origen subterráneo profundo? El geólogo principiante responderá por sí mismo á esta pregunta refiriéndose á lo que ya llevamos expuesto.

Se ha objetado, sin embargo, que si las rocas graníticas y volcánicas fueren simplemente miembros diferentes de una sola gran serie, se deberían encontrar en las cadenas montañosas diques volcánicos que por la parte superior pasaran á la lava, y por la inferior al granito. Responderemos que siendo habitualmente nuestros cortes verticales muy limitados, si se llega á reconocer en ciertos puntos un paso del trapp á la lava porosa, y en otros una transición del granito al trapp, es más de lo que se podía esperar en semejantes circunstancias.

La extensión prodigiosa de desnudación producida

durante las épocas remotas enseña al geólogo que las antiguas rocas cristalinas que ocuparon un nivel muy bajo en la costa terrestre cuando se formaron, fueron posteriormente despojadas de su envoltura y puestas á descubierto. Se debe atribuir su elevación actual sobre el nivel del mar á las mismas causas que han determinado el alzamiento de las capas marinas hasta los puntos culminantes de ciertas cordilleras de montañas. Pero volveremos á hablar de este asunto y de otros semejantes en el capítulo inmediato, donde explicaremos la edad relativa de diferentes masas graníticas.

## CAPITULO XXXIV.

### SOBRE LAS DIFERENTES EDADES DE LAS ROCAS PLUTÓNICAS.

CUANDO se adopta la teoría ígnea del granito tal como la hemos explicado en el capítulo anterior, y se consideran las diferentes rocas plutónicas como engendradas en épocas sucesivas bajo la superficie del planeta, debe esperarse encontrar mayores dificultades en la determinación de la edad precisa de estas rocas que en la de las formaciones volcánicas y fosilíferas. Recordemos que para establecer la edad de las masas volcánicas de un mismo período tenemos varios medios á nuestra disposición: la naturaleza de la lava que se ha esparcido en otro tiempo sobre el fondo del mar ó se ha producido á cielo abierto, las tobas y conglomeratos depositados igualmente sobre superficies descubiertas, los restos orgánicos que contienen las masas anteriores, y finalmente su intercalación en las capas fosilíferas. Pero todos estos datos faltan cuando se quiere fijar la cronología de una roca que ha cristalizado en su baño de fusión en el centro de la tierra. Entonces nos encontramos reducidos á solo los caracteres siguientes: 1.º, la posición relativa, 2.º, la intrusión y alteración de las rocas en el contacto; 3.º, la naturaleza mineral; 4.º, los fragmentos incluidos.

CARÁCTER DE LA EDAD DEDUCIDO DE LA POSICIÓN RELATIVA. Se encuentran capas fosilíferas no alteradas de cada edad que reposan inmediatamente sobre rocas plutónicas: de esto existe un ejemplo en Cristiania en Noruega: allí el depósito del Nuevo Plioceno se haya sobrepuesto al granito. La Auvernia presenta otro caso: las capas Eólicas de agua dulce, son las que cubren á esta roca; en Heidelberg sobre el Rhin, el Nuevo Gres Rojo es el que se observa en una posición semejante. En todos estos casos y otros análogos, la inferioridad de posición se une á la mayor antigüedad del granito. La roca cristalina era sólida cuando vinieron á depositarse en ella las capas sedimentarias, y estas últimas contienen comunmente cantos redondeados de la masa granítica sub-yacente.

CARÁCTER OFRECIDO POR LA INTRUSION Y LA ALTERACION. Pero cuando las rocas plutónicas envían ramificaciones á las capas y las alteran cerca del punto de contacto, dando lugar á los fenómenos que hemos descrito anteriormente, es claro que semejantes en esto á los trapps de intrusión, estas rocas son más recientes que las capas invadidas y alteradas. Mas adelante volveremos á ocuparnos de este asunto.

CARÁCTER DE LA COMPOSICION MINERAL. A pesar de su uniformidad general de aspecto, las rocas plutónicas, como hemos visto en el último capítulo presentan algunas variedades, tales como Sienita, Granito talcoso y otras. Una de estas rocas se encuentra á veces exclusivamente en una gran extensión de país, conservando un carácter homogéneo; así desde que su edad relativa ha sido establecida en un punto, se reconoce fácilmente su identidad en todas las demás partes y se determinan por medio de un solo corte las relaciones cronológicas de una larga cordillera de montañas. Cuando, por ejemplo, se ha observado en

Noruega que el granito sienítico en que abunda el mineral llamado zircon, ha modificado las capas silurianas con que estaba en contacto, no podría vacilarse en referir á la misma época otras varias masas de sienita zircona idénticas del Sur de este país.

Ciertos geólogos han creído que se podía hasta cierto punto establecer la edad relativa de los diferentes granitos, simplemente por sus caracteres de composición mineral: la sienita, por ejemplo, ó granito con hornblenda sería mas moderna que el granito comun ó micáceo; investigaciones recientes se oponen á estas generalizaciones. El granito sienítico de Noruega, de que hemos hablado, puede pertenecer á la misma edad que las capas silurianas que atraviesa y altera, pero también datar del período del Antiguo Gres Rojo, mientras que el de Dartmoor, aunque compuesto de mica, cuarzo y feldspato es mas moderno que la hulla.

**Caracter de los fragmentos incluidos.** Este criterio es rara vez de alguna importancia porque las porciones envueltas en el granito están ordinariamente tan alteradas que no se puede establecer con seguridad de qué rocas se derivan. En las Montañas blancas (América septentrional), se ve, según dice el profesor Hubbard, una vena de granito que atraviesa otra roca de la misma naturaleza y contiene fragmentos de pizarra y de trapp que han debido caer en la hendidura en el momento en que las materias fundidas se elevaron para llenarla. Esta es la prueba de que el granito es posterior á ciertas formaciones esquistosas y trapeanas superficiales.

**Rocas plutónicas recientes y pliocénicas;** porque no aparecen en la superficie. Las explicaciones que hemos dado en los capítulos XXIX y último, sobre las relaciones probables que existen entre las formaciones plutónicas y volcánicas, conducen naturalmente á deducir que rocas de cierta clase nunca pueden producirse en la superficie ó cerca de la superficie del suelo, sin que simultáneamente ó poco después se formen algunas otras rocas de la misma clase. No es raro que corrientes de lava empleen mas de diez años en enfriarse al aire, y cuando tienen un gran espesor exigen un período todavía mas largo. La materia fundida que arrojó el Jorullo en Méjico, en 1759, materia que se acumuló en ciertos puntos hasta mas de 160 metros conservó su temperatura elevada mas de medio siglo. Fácilmente se concibe en este caso que grandes masas de lava subterránea puedan permanecer en estado incandescente en los focos volcánicos durante

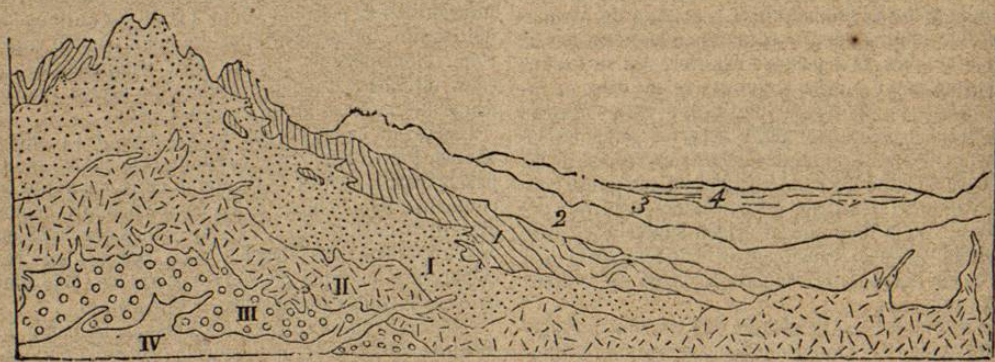


Diagrama que indica la posición relativa de las formaciones plutónicas y sedimentarias.

- |                          |                             |
|--------------------------|-----------------------------|
| I. Plutónicas primarias. | 4. Capas recientes.         |
| II. — secundarias.       | 3. — terciarias.            |
| III. — terciarias.       | 2. — secundarias.           |
| IV. — recientes.         | 1. — fosilíferas primarias. |

en épocas sucesivas hasta que ha presentado por fin un punto de su superficie á lo largo de una cordillera montañosa. Esta aparición ha sido favorecida por la

largos períodos y el progreso de su enfriamiento presentar mucha lentitud. Algunas veces este enfriamiento se retarda aun mas durante largos intervalos por nuevas emanaciones de calórico; se cita la lava del cráter de Stromboli, una de las islas Lipari que ha permanecido mas de dos mil años en estado de ebullición. Se puede suponer que esta masa fluida comunicaba con algun receptáculo subterráneo de sustancia fluida. Lo mismo puede decirse respecto á la isla de Borbon en la cual durante un largo período se produjeron en otro tiempo emisiones sucesivas de lava, de dos en dos años; es difícil suponer que al mismo tiempo la lava no se hallará en un estado permanente de fusión. Si es pues razonable creer que se han verificado unas dos mil erupciones en el curso de cada siglo, ya sea bajo las aguas del mar, ya á niveles superiores á su superficie, se debe deducir que la cantidad de rocas plutónicas de nuestros días engendradas ó en via de formación, debe ser considerable.

Pero como las rocas plutónicas se han formado á cierta profundidad de la corteza sólida, no se hacen accesibles á la observación humana por efecto de alzamientos ó de desnudaciones. Entre el período durante el cual una roca plutónica ha cristalizado en el seno de las regiones subterráneas y aquel en que se ha hecho visible en un punto de la superficie, se cuentan ordinariamente una ó dos épocas geológicas; no puede esperarse pues encontrar granitos recientes ó del Nuevo Pliógeno á descubierto sobre el suelo á menos de suponer que haya pasado un intervalo de tiempo suficiente para permitir un alzamiento y una desnudación notables desde el principio del período del Nuevo Pliógeno. Una roca plutónica debe, pues, en general ser muy antigua relativamente á las formaciones fosilíferas y volcánicas cuando llega á hacerse visible. Sabemos que con el alzamiento de las tierras han coincidido algunas veces, en la América meridional, erupciones volcánicas y eyecciones de lava; fácil es deducir que rocas plutónicas de una época mas remota han sido impelidas á la superficie por rocas de la misma clase que se han formado sucesivamente debajo. En efecto; la infraposición en las rocas plutónicas, como la superposición en las capas sedimentarias, son habitualmente características de un origen mas reciente.

En el diagrama siguiente se ha procurado representar el orden invertido en que las formaciones sedimentarias y plutónicas pueden encontrarse en el seno de la costra terrestre.

La roca plutónica mas antigua núm. I se ha elevado

influencia ígnea de las rocas plutónicas mas modernas números II, III y IV. Una porción de las capas fosilíferas primarias núm. 4 ha seguido el mismo mo

viamiento ascensional impelida por una fuerza idéntica. Se observará que las capas Recientes núm. 4, y el granito Reciente ó roca plutónica núm. IV se hallan mas distantes entre sí que todas las demás formaciones aunque daten de la misma edad. Según nuestra hipótesis, que explica el diagrama, se necesitarían convulsiones de varios períodos para que el granito Reciente ó granito del período del hombre se elevara hasta el punto de formar las cretas mas altas y los ejes centrales de las cordilleras de montañas. Durante este largo intervalo de tiempo, las capas Recientes número 4 podrían cubrirse de un gran numero de formaciones sedimentarias mas modernas.

**GRANITO Y ROCAS PLUTÓNICAS EÓCENAS.** En la primera parte de esta obra, hemos referido la gran formación nummulítica de los Alpes y de los Pirineos al período Eógeno; resulta de este carácter de edad una vez establecido, que los poderosos movimientos que han elevado las rocas fosilíferas á la altura de mas de 3,000 metros sobre el nivel actual del mar, han empezado desde la época terciaria. En estas regiones al menos, sino en otras comarcas se podrán encontrar formaciones hipógenas formando saliente fuera del eje central ó de las porciones mas dislocadas de la mas alta cordillera de Europa. Y en efecto, en los Alpes Saizos, el *Fisch* mismo, ó parte superior de la serie nummulítica, ha sido algunas veces invadido por las rocas plutónicas, y convertido en esquisto cristalino de la clase de las rocas hipógenas. Además puede caber duda sobre la fluidez ó el estado pastoso del granito talcoso ó gneiss del Monte Blanco mismo, en una época posterior al depósito del *fisch* (depósito de fondo de mar); la cuestión, por consiguiente, relativa á la edad de la roca ígnea, no es tanto saber si esta roca es secundaria ó terciaria, como decidir si se la debe referir á la época Eógena ó Miocena.

La region de los Andes ha experimentado grandes movimientos de elevación durante el período Post-Pliógeno; se puede pues esperar también descubrir rocas plutónicas terciarias visibles en la superficie en algunos puntos de esta cordillera. Los conocimientos que ya poseemos sobre la estructura de los Andes chilenos nos pondrá naturalmente en camino de hacer estos descubrimientos. Un corte dirigido al través del largo relieve ha probado á Darwin que entre Valparaiso y Mendoza la Cordillera se compone de otras dos separadas y paralelas, formadas de rocas sedimentarias de diferentes edades, cuyas capas reposan sobre rocas plutónicas que las han alterado. La cordillera occidental ó mas antigua llamada los Pequeños, presenta esquistos arcillosos, calcáreos, negros, que se elevan á una altura de cerca de 4,260 metros sobre el nivel del mar, y en los cuales se distinguen conchas de los géneros *Gryphaea*, *Turritella*, *Terebratula* y *Ammonites*. Se supone que estas rocas son de la edad de la parte media de la serie secundaria de Europa. Se hallan atravesadas y alteradas por diques y masas de una roca plutónica que presenta la testura del granito ordinario, pero que contiene rara vez cuarzo, y se compone especialmente de albíta y hornblenda.

La cadena oriental está formada principalmente de gres y conglomeratos de un gran espesor, cuyos materiales proceden de las ruinas de la cadena occidental. Los cantos rotados de los conglomeratos son en su mayor parte fragmentos redondeados de estos esquistos fosilíferos que acabamos de mencionar. La semejanza de la serie entera con ciertos depósitos terciarios esparcidos en las costas del Pacífico, semejanza que se refiere á la vez al carácter mineral y á la presencia de lignito y de leño silicificado diseminados en el seno de estas capas, nos conduce á pensar que esta serie (gres y conglomerato) es tambien de origen terciario. Además, no solamente los estratos se hallan asociados á rocas trapeanas y tobas volcánicas, sino

que tambien han sido alterados al contacto de un granito mas reciente que el de la cordillera occidental y compuesto de cuarzo, feldspato y talco. Igualmente se hallan atravesados por diques del mismo granito y por numerosos filones de hierro, cobre, arsénico, plata y oro, filones que todos continúan en el granito sub-yacente. Existen, pues, pruebas suficientes para admitir que la roca plutónica, que en los Andes de Chile se presenta así á descubierto en una extensa superficie, es de fecha posterior á ciertas formaciones terciarias.

Pero la teoría adoptada en este tratado y que señala un origen subterráneo á las formaciones hipógenas, carecería de base si se supusiera que el hecho de un granito terciario visible en la superficie del suelo, no es una excepción rara á la regla general. Un espacio de tiempo bastante considerable ha debido transcurrir entre la formación de las rocas plutónicas y metamórficas en el seno de las regiones profundas y su aparición sobre la tierra. Una larga serie de movimientos subterráneos ha sido necesaria para el alzamiento de estas rocas á la atmósfera ó su emersión del fondo del Océano; antes de que se hayan hecho visibles al hombre las capas que las cubren, han sido desgarradas profundamente y arrastradas por la desnudación.

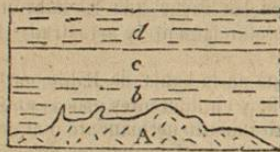
Sabemos que en la bahía de Bahie, en 1538, en Cutch en 1819, y en diferentes épocas en el Perú y en Chile, el alzamiento permanente ó el descenso de las tierras á contar desde principios del siglo actual han sido acompañados de emisiones de lava volcánica. No se puede deducir, que los movimientos de ascension ó de descenso de la costra terrestre á consecuencia de los cuales los mares se han convertido en continentes y estos en mares, sean resultado de la acción ígnea subterránea. Es muy difícil no admitir que esta acción concurre con notable energía á calcinar, y á veces á liquidar las rocas aumentando el volumen de unas y disminuyendo el de otras. También contribuye á la producción de los gases, á su expansión bajo la influencia del calor, y á la inyección de materias líquidas en las hendiduras formadas al través de la roca sobrepuesta. Se comprenderá el grado de intensidad con que las causas subterráneas han obrado en Sicilia desde el depósito de las capas del Nuevo Pliógeno, si se recuerda que en la mitad de la superficie de la isla estas capas se han elevado desde 15 metros hasta 600 y aun 900 sobre el nivel del mar. En Sicilia igualmente, las rocas mas antiguas inmediatas á las capas terciarias marinas anteriores, han debido experimentar durante el mismo período movimientos semejantes de ascension.

Estas observaciones pueden aplicarse casi á la totalidad de Europa, porque desde el principio del período Eógeno, la superficie entera de esta porción de la tierra, comprendiendo algunos de los puntos centrales y aun los mas elevados de los Alpes como hemos demostrado en otra parte, y exceptuando solo algunos distritos, han surgido de los abismos para elevarse á su altura natural; los continentes anteriores á la era Eógena, habian adquirido ya casi en todas partes su altura adicional. Un descenso marcado se verificó durante el mismo período, y este descenso alcanzó una extensión, que igualó sino excedió á la superficie total del continente europeo. Se preguntará, pues, ¿cuál debió ser la cantidad de cambios de importancia comparable sobrevenidos en la corteza terrestre durante un tiempo igual anteriormente á la época Eógena? Los geólogos que nieguen la energía mas intensa de las causas subterráneas en las épocas lejanas de la historia de la tierra, encontrarán muchas mas dificultades de las que pudieran esperar para responder á esta pregunta.

El principal efecto de la acción volcánica que se produjo en las profundidades de la tierra durante el

período terciario, fue sin duda de alzamiento de la superficie de las formaciones hipógenas de una época anterior al Carbonífero. Otra serie de movimientos de violencia igual, elevó las rocas plutónicas y metamórficas de varios períodos secundarios; si la misma fuerza continuara obrando todavía, las primeras convulsiones que se verificaran pondrían á descubierto rocas hipógenas *Terciarias* y *Recientes*. Bajo la influencia de estos cambios, varias de las capas sedimentarias actuales perderían mucho por la desnudación; otras adquirirían una estructura metamórfica, y caerían á niveles bajos en rocas plutónicas y volcánicas. Al mismo tiempo no dejaría de depositarse un gran espesor de estratos nuevos, mientras que se verificaría el alzamiento y la destrucción parcial de las rocas más antiguas.

**PERÍODO CRETÁCEO.** Demostraremos en el capítulo XXXV, que en los Pirineos orientales, la creta así como el Lias ha sido alterado por el granito. No es fácil distinguir si este granito fue cretáceo ó terciario. Supongamos que *b*, *c*, *d*, sean los tres miembros de



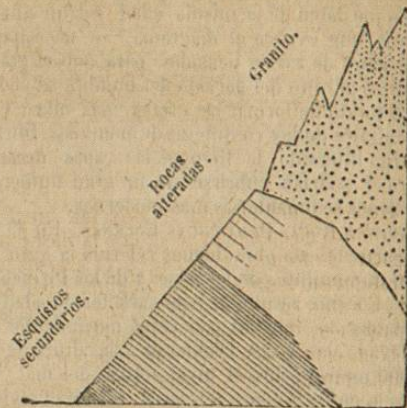
a serie Cretácea, de los cuales el más inferior *b* hubiera sufrido modificaciones bajo la influencia del granito A, influencia que no se habría propagado hasta *c* ó solo habría afectado ligeramente sus lechos más inferiores. En este caso será difícil al geólogo decidir si las capas *d* han existido al tiempo en que se verificaron la intrusión A y las modificaciones *b* y *c*, ó bien si se depositaron más tarde sobre *c*.

Pero como ciertas rocas cretáceas y aun terciarias han sufrido un alzamiento de más de 2,740 metros en los Pirineos, no se puede admitir que formación alguna plutónica de los mismos períodos haya sido puesta á descubierto por la desnudación á niveles de 600 á 900 metros sobre las vertientes de aquella cordillera.

**PERÍODO DE LA OOLITA Y DEL LIAS.** En el departamento de los Altos Alpes en Francia, Elias de Beaumont ha indicado una caliza arcillosa llena de Belemnitas á algunos metros de una masa de granito. A esta distancia la caliza empieza á tomar una estructura granugienta, pero de granos sumamente finos. Mas cerca del punto de unión, esta misma caliza se vuelve agrisada y adquiere una testura sacaroidea. En otra localidad cerca de Champoleon, cierto granito compuesto de cuarzo, mica negra y feldspato rosa, cubre en parte rocas secundarias produciendo una alteración que se extiende á unos 9 metros y disminuye en las capas más lejanas del granito. En el seno de la masa alterada, los lechos arcillosos han sido endurecidos, la caliza es sacaroidea, los gres son cuarzosos; en medio se encuentra una faja delgada de granito imperfecto. Otra circunstancia importante merece ser indicada; cerca del punto de contacto, el granito y las rocas secundarias se han vuelto metalíferas y contienen nidos así como venillas de blenda, galena, hierro y pirita de cobre. Las rocas estratificadas se presentan en este punto de contacto más duras y más cristalinas, mientras que el granito por el contrario se vuelve más friable y más confusamente cristalizado.

Aunque el granito sea la masa sobrepuesta en el corte, no se debe deducir que ha corrido en la superficie de las capas, porque las dislocaciones son tales

en aquella parte de los Alpes, que las rocas rara vez ocupan la posición que tenían en su origen.



Unión del granito á las capas jurásicas u oolíticas cerca de Champoleon en los Alpes.

El doctor Mac-Culloch ha descrito una masa considerable de sienita que en la isla de Skye atraviesa calizas y esquistos de la edad del Lias. A distancia del granito, la caliza contiene conchas, pero no presenta indicios de ellas cerca del punto de unión donde se ha convertido en mármol cristalino puro.

En Predazzo (Tirol), capas secundarias pertenecientes en parte al período Oolítico, han sido penetradas y modificadas por rocas plutónicas, sobre todo por un pórfido augítico que pasa insensiblemente al granito. La caliza se ha convertido en mármol granugiento con una faja de serpentina en el punto de unión.

**PERÍODO CARBONIFERO.** En un principio se ha considerado el granito de Dartmoor en el Devonshire como una de las más antiguas rocas plutónicas, pero se sabe muy bien hoy, que es posterior á las capas de combustible del mismo condado; estas, según su posición y su contenido en plantas hüllíferas de carácter bien marcado, constituyen actualmente para el profesor Sedgwich y Sir R. Murchison, miembros de la verdadera serie carbonífera. Lo mismo que el granito sienítico de Cristiana, el de que tratamos aquí más especialmente, se ha abierto paso al través de las formaciones estratificadas sin cambiar su dirección. Ahora bien, en el lado Nor-Oeste de Dartmoor los miembros sucesivos del terreno de combustible tropiezan contra el granito, y se metamorfinizan á medida que se aproximan á él. Estas capas están también atravesadas por venas graníticas y diques plutónicos llamados Elvans. El granito de Cornwall es probablemente de la misma edad, y por consiguiente, tan moderno como los estratos Carboníferos sino lo es más.

**PERÍODO SILURIANO.** Se sabe desde hace mucho tiempo, que el granito de los alrededores de Cristiana, en Noruega, es de fecha más reciente que las capas Silurianas del mismo país. Buch, ha sido el primero que ha anunciado el hecho en 1813: este granito es posterior á las calizas de Ortoceros y de Trilobitos. Las pruebas son: la presencia de venas graníticas que atraviesan un esquistos y una caliza, y la alteración de estas últimas rocas hasta una distancia considerable del punto de contacto, alteración producida ya sea por venas, ya por la masa central cuyas venas no son más que ramas. Buch ha supuesto, que las rocas plutónicas alternaban aquí con los estratos fosilíferos, y que grandes pedazos de granito cubrían á veces estos estratos; esta opinión es errónea; se apoyaba en el hecho de que los lechos de esquistos y de caliza se in-

clinan frecuentemente hacia el granito, en el punto de unión, como si debieran pasar bajo su masa, por ejemplo, en *a* mientras que en *b* al lado opuesto de la misma montaña, los lechos se elevan contra los costa-



dos del granito. Pero cuando se observan atentamente los puntos de contacto, se ve que la roca plutónica penetra en formas rebajadas en el seno de las rocas estratificadas fosilíferas; en ninguna parte sin embargo las cubre en grandes masas, como lo hacen tan frecuentemente las formaciones trapecanas.

Ahora bien, el mismo granito que es más moderno que las capas Silurianas en Noruega, envía también en aquel país venas al través de una antigua formación de gneiss, y las relaciones de la roca plutónica al gneiss en su unión, presentan el mayor interés si se

considera con la atención que merece la diferencia de época que debió separar su origen.

Esta diferencia, y por consiguiente la duración del intervalo, puede calcularse según los hechos siguientes. Los lechos fosilíferos ó Silurianos reposan en estratificación no concordante sobre el canto del gneiss cuyas capas inclinadas han sido desnudas antes que los estratos sedimentarios se hubieran depositado. Las pruebas de la desnudación son de dos clases: primeramente se encuentran á veces en la superficie del gneiss, cuando se levantan los lechos más modernos

Capas silurianas.



Gneiss. Granito proyectando venas en las capas Silurianas y el gneiss, en Cristiana.

que le cubren, restos orgánicos desgastados y redondeados; en segundo lugar, se han encontrado cantos rodados de gneiss en algunas de las capas Silurianas. Por consiguiente, entre el origen del gneiss y el del granito, han intervenido primero, el período en que las capas de gneiss fueron desnudas, y después la época de acumulación de los depósitos Silurianos. Sin embargo, el granito que ha salido después de tan largo intervalo de tiempo, se halla tan íntimamente ligado al gneiss antiguo hacia los puntos de unión, que no se puede trazar más que una línea arbitraria de separación entre los dos; y por otra parte las venas tortuosas de granito pasan libremente al través del gneiss, enviando algunas veces á diferentes puntos pequeñas ramificaciones como si la roca más antigua no hubiera ofrecido la menor resistencia á este paso. Parece pues necesario admitir, que el gneiss se hallaba en un estado de blandura y más ó menos en el de fusión, cuando fue penetrado por el granito. Pero en la suposición de que los puntos de unión solos hubiesen sido visibles, y de que no se hubiera conocido por otros cortes la duración del período transcurrido entre la consolidación del gneiss y la inyección del granito, se hubiera quizá admitido que el gneiss estaba apenas solidificado, ó que no había adquirido aun completamente su carácter metamórfico cuando fue invadido por la roca plutónica. Por este ejemplo se ve cuán difícil debe ser en Escocia y otros países, prejuzgar la edad de ciertos granitos que envían venas al gneiss y otras rocas metamórficas, y decidir si pertenecen á la época Primaria, ó á los períodos Secundario ó Terciario.

**GRANITOS MÁS ANTIGUOS.** Hace cosa de medio siglo, se creía generalmente, que toda roca granítica era primitiva, es decir, que había sido formada antes de las primeras capas sedimentarias y de la creación de los seres organizados. Pero hoy han cambiado las opiniones de tal manera, que no es fácil hacer remontar el origen de una masa dada de granito á una época anterior á la acumulación de toda serie fosilífera. Aun

cuando se llegaran á descubrir algunos estratos de Cambriano Inferior reposando inmediatamente sobre el granito, sin alteración en el punto de contacto ó sin venas graníticas, podría asegurarse que la roca plutónica es anterior á los depósitos fosilíferos más antiguos que se conocen. Y aun es presuntuoso suponer que por investigaciones que no han llegado sino á una pequeñísima parte del globo, conozcamos las capas fosilíferas más antiguas de nuestro planeta. Aun suponiendo que estas capas estuvieran bien demostradas, nos sería lícito afirmar que en ninguna parte se encuentran lechos anteriores que hayan contenido restos orgánicos, pero que posteriormente se hayan vuelto metamórficos. Si se llegaran á encontrar cantos rodados de granito en un conglomerato del Cambriano Inferior, se adquirirá la certidumbre de que el granito padre fue producido antes de la formación de este terreno, y de que, si las capas incumbentes pertenecen al Siluriano ó al Cambriano Superior, el granito fundamental, aunque de gran antigüedad, será quizá posterior en edad á las formaciones fosilíferas conocidas.

**PROTRUSION DEL GRANITO SÓLIDO.** En el condado de Sutherland, cerca de Brora, un granito común compuesto de feldspato, cuarzo y mica, que se ve en contacto inmediato de capas Oolíticas, sin duda alguna, ha sido elevado á la superficie, en una época posterior al depósito de estas capas. El profesor Sedgwich, y Sir R. Murchison, han considerado que este granito había sido impelido en forma sólida al través de los diferentes depósitos sub-marinos, con los cuales en un principio quizá no se hallaba en contacto, habiéndolos fracturado y formado casi una brecha á lo largo de la línea de unión. Esta brecha, que existe en efecto, se compone de fragmentos de esquistos, gres y caliza, con fósiles de la Oolita, unido el todo por un cemento silíceo. Las capas secundarias á alguna distancia del granito no están más que ligeramente alteradas; pero á medida que se aproximan á él la dislocación se hace más pronunciada.

Si se admite que las rocas sólidas hipógenas, estratificadas ó no, hayan sido en tales casos impelidas de manera que hayan atravesado los depósitos sedimentarios, se explicaran varios fenómenos geológicos que de otro modo hubieran sido inexplicables. Así, por ejemplo, en Weinbohl y Hohnstein, cerca de Meissen en Sajonia, se ha indicado una masa de granito que cubre capas de los períodos Cretáceos y Oolítico en un espacio de 90 á 120 metros cuadrados. Resulta claramente de una Memoria del doctor Colla, sobre este asunto, que el granito ha salido en estado sólido. No existen venas en el punto de union; no se observa, tampoco, alteracion producida por el calor; pero sí

indicios evidentes de una accion de fraccionamiento y de trituracion, y en algunos puntos se reconoce una brecha en la cual pedazos de granito estan mezclados con fragmentos de rocas secundarias.

EDAD RELATIVA DE LOS GRANITOS DE ARRAN. En esta isla, la mas considerable del Firth de Clyde, y que mide 32 quilómetros de longitud del Norte al Sur, las cuatro grandes clases de rocas, Fosilíferas, Volcánicas, Plutónicas y Metamórficas, estan desarrolladas en un grado notable, en una superficie comparativamente reducida, pero con sus caracteres particulares bien marcados. En el Norte, el granito llega á una altura de 900 metros sobre el nivel del mar, y termina



1. Esquistos Metamórficos ó Hipógenos, los mas antiguamente formados de Arran.  
2. Granito de gruesos elementos, que dirige venas al través de los esquistos n.º 1.  
3. Viejo Gres rojo y conglomerato que contiene cantos rodados, exclusivamente derivados de las rocas n.º 1, sin mezcla alguna de fragmentos graníticos.

4. Capas carboníferas y Gres rojo.  
5. Trapp en superposicion y en diques (c, d, e), que pasa á veces á las sienitas de la clase de las rocas plutónicas.  
6. a. Granito de granos pequeños, asociado al trapp subyacente número 5.  
6. b. Granito igualmente de granos finos, ramificándose en el granito mas antiguo n.º 2, y cortando los diques trapeanos c, d.

en forma de picos. Los lados de la montaña estan ocupados por esquistos cloríticos, pizarras regulares, azules, y otras rocas del orden de las metamórficas (número 1), al través de las cuales el granito (número 2) envía venas. Este granito, es, pues, mas nuevo que los esquistos hipógenos (número 1), que él penetra.

Los esquistos estan muy inclinados; se les ve coronados de conglomeratos y gres (número 3), que se pueden referir á la formacion del Antiguo Gres Rojo, y á los que suceden diferentes esquistos y calizas fosilíferas (número 4), del período Carbonífero; encima vienen otras rocas de gres y conglomerato (parte superior del número 4), en el seno de los cuales no se han encontrado todavía fósiles, y que se sospecha pertenecer al Nuevo Gres Rojo. Todas las formaciones anteriores estan atravesadas por rocas volcánicas (número 5), que consisten en greenstone, basalto, pechstein, argilofiro y otras variedades. Estas rocas se presentan ya bajo la forma de diques, ya en la de masas de 15 á 215 metros de espesor, cubriendo las capas (número 4). Pasan algunas veces á una sienita tan cristalina, que se la creeria de produccion plutónica, y, en una localidad particular, en Ploverfield, en Glen Cloy, un granito de grano fino (6, a), se encuentra asociado á la formacion de trapp, y proyecta venas al través del gres ó los lechos superiores del número 4. Este descubrimiento interesante del granito en la region Sur de Arran, en un punto donde está separado de la masa septentrional de la misma roca por un inmenso espesor de capas secundarias y de trapps subyacentes, se debe á Necker de Ginebra, y data del viaje de este sabio á Arran en 1839. Sabemos tambien por las últimas investigaciones del profesor Ramsay, que un granito semejante de grano fino (número 6, b), existe en el interior del distrito granítico septentrional del cual forma el núcleo, enviando venas al granito de elementos gruesos mas antiguo (número 2). Los diques de trapp que penetran esta última masa, estan cortados bruscamente, segun Ramsay, en su union con la roca de grano mas fino.

No es improbable que el granito (número 6, b), sea de la misma edad que el de Ploverfield (número 6, a), y este á su vez podria muy bien pertenecer á la misma época geológica que las formaciones de trapp (número 5). Si debe haber diferencia de fecha, el granito

de grano fino es el que parece mas moderno que las rocas trapeanas. Pero por otra parte, el granito de elementos gruesos (número 2), seria quizá la roca mas antigua de Arran, exceptuando los esquistos hipógenos (número 1), al través de los cuales envía ramificaciones.

Quizá se opondrá á esta opinion la circunstancia curiosa y verdaderamente notable á que el doctor Mac-Culloch ha dado gran importancia, á saber: que no se encuentra piedra alguna de granito en los conglomeratos del Antiguo Gres Rojo de Arran, aunque estos midan algunos centenares de metros de espesor y existan al pié de altas montañas graníticas. Como regla general, todos estos agregados de guijarros y arena estan principalmente compuestos de fragmentos de rocas preexistentes que se encuentran en su inmediacion, la ausencia total de guijarros graníticos ha sorprendido con razon á los geólogos que han visitado sucesivamente la isla de Arran y la han explorado con cuidado. Las porciones redondeadas del conglomerato consisten exclusivamente en cuarzo, clorito-esquisto, y otros miembros de la serie metamórfica; ni aun en los conglomeratos mas modernos (del número 1), se ha encontrado todavía fragmento alguno granítico. ¿Podemos suponerlos autorizados para asegurar que el granito de elementos gruesos (número 2), asi como la variedad de grano pequeño de la roca análoga (número 6, a), son mas modernos que todas las otras masas de la isla? No lo creemos por lo menos hasta el presente; pero se puede admitir con confianza que cuando se formaron los diversos lechos de gres y conglomerato, ningun granito se presentaba todavía en la superficie ni habia sido puesto á descubierto por la desnudacion en la isla de Arran. Es claro que los esquistos cristalinos habian ya tomado fondo en arena y guijo donde se depositaron los estratos (número 3); pero en aquella época, las olas no habian ejercido aun su accion sobre el granito que hoy presenta ramificaciones que penetran en el esquisto. Debemos deducir que los esquistos han sufrido la desnudacion antes de haber sido invadidos por el granito? Esta hipótesis que no es inadmisible, no es sin embargo de una certidumbre absoluta. En efecto, en la época en que se depositó el Antiguo Gres Rojo, las capas metamórficas constituian ya sin duda islas en el mar, y contra

estas islas chocaron las rompientes ó en su superficie, na. La roca plutónica ó granito (B), habrá sido, quizá corrieron torrentes y rios que arrastraron guijo y arena en un principio, inyectada á cierto nivel por debajo,



pero la desnudacion no la ha puesto nunca su superficie en descubierto.

En cuanto á la época y al modo de protrusion del granito de granos gruesos (número 2.), se puede decir que esta roca ha salido en masa en forma sólida durante la larga serie de operaciones ígneas que han producido las formaciones trapeanas y plutónicas (números 5, 6 a y 6 b).

Hemos demostrado que estas erupciones, cualquiera que sea su fecha, han acaecido despues del depósito de todas las capas fosilíferas de Arran. Es evidente tambien que posteriormente á las rocas graníticas y trapeanas sobrevino la gran desnudacion acuosa que estas rocas sufrieron probablemente en el momento de salir del Océano: el hecho está probado por la terminacion escarpada de muchos diques, tales como c, d, e, los cuales estan cortados á flor de la superficie del granito y del trapp. El trapp sobrepuesto termina asimismo bruscamente al acercarse á los limites de la vasta region hipógena, por un corte marcado que mira á f. Cuando esta roca, en un principio, corrió en estado líquido, no debió detenerse tan bruscamente, sino continuar hasta llenar la depression que hoy la separa de las rocas hipógenas á lo menos si esta depression existió entonces. La necesidad de suponer que á un mismo tiempo el trapp y el conglomerato se hayan extendido en otro tiempo mas lejos, y que algunas veces, tales como c d, hayan llegado á una altura mucho mayor, nos conduce á pensar que la totalidad del granito septentrional estuvo en cierta época cubierto por formaciones mas modernas, bajo cuya presion adquirió su tesura eminentemente cristalina.

La teoria de la protrusion en forma sólida del núcleo septentrional de granito, recibe su confirmacion de la manera como los esquistos (número 1) y los lechos de conglomerato (número 3) bajan hácia todos lados. En algunos puntos á la verdad, los esquistos se inclinan hácia el granito, pero podia esperarse esta excepcion, porque las capas hipógenas han sufrido dislocaciones en mas de una época geológica, y en algunos casos al menos han ocupado quizá al tiempo de salir una posicion inversa. Por consiguiente la gran inclinacion y la bajada en todos sentidos de los lechos alrededor de los bordes de la eminencia granítica, y despues la horizontalidad comparativa de las capas fosilíferas de la porcion meridional de la isla, son hechos perfectamente de acuerdo con la hipótesis de enormes movimienos en el punto en que se supone que el granito ha salido en masa sólida, y donde puede comprenderse que se ha desarrollado lateralmente por la inyeccion reiterada de nuevas materias fundidas.

## CAPITULO XXXV.

### ROCAS METAMÓRFICAS.

HASTA el presente hemos estudiado tres clases distintas de rocas, acuosas ó fosilíferas, volcánicas, plutónicas ó graníticas, réstanos al presente para terminar, examinar aquellas capas cristalinas (hipógenas) á que se ha dado el nombre de metamórficas. Esta

última expresion, como hemos dicho en otro lugar, implica la hipótesis de que las capas, despues de haberse depositado en el fondo de las aguas, habrian adquirido bajo la influencia del calor y otras causas, una testura eminentemente cristalina. Los geólogos que no admiten esta opinion pueden aplicar á las rocas de que se trata, los epítetos de estratificadas, hipógenas ó hipógenas esquistosas.

Estas rocas en su estado mejor caracterizado y mas normal, estan completamente desprovistas de restos orgánicos, no contienen, tampoco ningunas porciones distintas de otras rocas, redondeadas ó angulosa. Algunas veces se les observa en puntos aislados, en el centro de cadenas montañosas estrechas, pero en otros casos, se extienden en anchas superficies, ocupando por ejemplo casi la totalidad de la Suecia y de la Noruega, donde lo mismo que en el Brasil, se manifiestan en bajos y altos niveles. En la Gran-Bretaña los miembros de la serie que se aproximan mas al granito por su composicion (tales son los gneiss, micasquisto, esquisto anfíbólico) se encuentran limitados á la comarca Norte de los rios Forth y Clyde.

Por cristalinas que estas rocas puedan ser en ciertos paises, no envian jamás como el granito y el trapp venas al seno de las formaciones contiguas, bien sean estas formaciones de esquisto antiguo ó de granito, ó bien un grupo de capas fosilíferas mas modernas.

Se ha intentado repetidas veces señalar un orden general de sucesion ó de superposicion á los miembros de esta familia; se ha supuesto, por ejemplo, que el esquisto arcilloso ocupaba invariablemente un nivel superior al micasquisto y que este se hallaba siempre sobrepuesto al gneiss. Pero aun cuando este orden sea en realidad el mas constante, en algunas regiones aisladas se halla lejos de ser universal. Por lo demás nos remitimos en este punto al capítulo XXXVII en que van expuestas las relaciones cronológicas de las rocas metamórficas.

Los principales miembros de la serie metamórfica son los siguientes; gneiss, micasquisto, esquisto anfíbólico, esquisto arcilloso, clorito-esquisto, caliza hipógena ó metamórfica y varias clases de cuarzo ó cuarzitas.

GNEISS. Puede decirse que esta roca es un granito estratificado, ó para los que no adoptarian esta última expresion, un granito hojoso; está formado de los mismos materiales que el granito; de feldspato, cuarzo y mica. En el ejemplar que representa la figura 559, las fajas blancas son casi exclusivamente feldspato laminoso entremezclado con escamas de mica y partículas de cuarzo. Las fajas negras estan compuestas de cuarzo gris y de mica negra con partículas accidentales de feldspato. La roca se divide mas fácilmente siguiendo las fajas negras, cuya superficie expuesta á la luz brilla por hallarse cubierta de pajillas de mica. El cuarzo que acompaña á estas fajas excede sin embargo en mucho en el mineral foliáceo; pero la exfoliacion mas fácil es determinada por la cantidad de este último mineral.

En lugar de separarse así en láminas delgadas, el gneiss se divide algunas veces en fajas mas gruesas

BIBLIOTECA CENTRAL

D. A. N. L.