

NOCIONES JENERALES  
DE GEOLOGÍA

PROFESADAS EN LA

ESCUELA PRACTICA DE MINERIA

DE SANTIAGO

POR

RAMON CORREAS RIVERA



SANTIAGO DE CHILE

IMPRENTA NACIONAL, MONEDA 112

1891



# NOCIONES JENERALES DE GEOLOGÍA

PROFESADAS EN LA

ESCUELA PRACTICA DE MINERIA

DE SANTIAGO

POR

RAMON CORREAS RIVERA



SANTIAGO DE CHILE  
IMPRENTA NACIONAL, MONEDA 112

1891





## ADVERTENCIA

---

Estas nociones jenerales de jeología constituyen la Introduccion al Curso de Esplotacion de Minas, que profesamos en la Escuela Práctica de Minería de Santiago.

Publicamos hoi sólo la parte primera, proponiéndonos dar a luz en breve la segunda, que trata de los Depósitos metalíferos.

R. C. R.

---



---

# NOCIONES JENERALES DE JEOLLOJIA

---

Del estudio de las propiedades de cada una de las sustancias minerales que entran en la composicion de la corteza terrestre, trata el ramo de ciencias naturales que ha recibido el nombre de *Mineralojía*. La *Jeolojía*, por el contrario, abraza el conjunto i se ocupa de la descripcion de las grandes masas, compuestas de las diversas especies de minerales que constituyen la parte conocida de la corteza terrestre; establece, ademas, el órden de superposicion de estas masas minerales; estudia los yacimientos de los minerales útiles, con el objeto de guiar a los mineros en sus esploraciones i en sus trabajos; en fin, analiza todos los fenómenos que se relacionan con la composicion del globo, para deducir de este exámen la historia de las revoluciones de que ha sido teatro.

La Tierra presenta la forma de una esfera protuberante en el ecuador i aplastada en los polos: el radio en el Ecuador es de 6.376,851 metros i el achatamiento de  $\frac{1}{305}$ . El cálculo i la observacion han demostrado que la densidad média de la Tierra es como cinco veces mayor que la del agua, es decir, cerca del doble de la densidad média de la parte de la corteza sólida que conocemos. Estos dos hechos permiten creer que toda la masa del globo ha sido primitivamente fluida, i que, en virtud de la gravedad, las materias que la componen han debido colocarse segun el órden de sus densidades, las mas densas en el centro i las mas livianas en la superficie: así vemos que el aire, el agua i la corteza mineral están dispuestos concéntricamente i en el órden de sus densidades.



La atmósfera que rodea el globo terrestre no tendría mas de 8 kilómetros de espesor, si su densidad fuese constante; pero como necesariamente disminuye, decreciendo la intensidad de la pesantez a medida que aumenta la distancia al centro de la Tierra, este espesor es realmente como de 60 kilómetros.

Las aguas cubren cerca de las tres cuartas partes de la superficie de la Tierra, i su evaporacion espontánea alimenta numerosas corrientes de agua, que surcan la corteza del globo; son ellas las que han hecho i hacen el principal papel en la formacion de los terrenos sedimentarios i de transporte.

Las masas minerales que componen la corteza del globo llevan el nombre de *rocas*. Este nombre se aplica tanto a las masas minerales no agregadas, como las arenas, i asimismo a los granitos i otras rocas que son masas compactas.

### Diferentes especies de rocas

Las *rocas simples* tienen una composicion química constante sobre una cierta estension: tales son los bancos de cuarzo compacto o *cuarzita*, las diversas rocas calcáreas, el yeso, la sal gema, ciertos minerales de fierro, los combustibles minerales, las arcillas i las margas que constituyen el paso a las rocas compuestas.

Las *rocas compuestas*, consideradas en su masa, presentan igualmente una cierta constancia de composicion, que podemos llamar mecánica, es decir, que el conjunto de una misma masa ofrece una mezcla mecánica de los mismos minerales i en las mismas proporciones. Las rocas compuestas se llaman *graníticas* si están formadas de una mezcla de minerales cristalizados; *porfíricas* cuando están compuestas de una pasta homogénea en la que están diseminados cristales contemporáneos; *amigdaloides*, si estos cristales están reemplazados por núcleos o almendrillas de un color diferente del de la pasta. Las rocas compuestas de fragmentos de rocas, mas antiguas, reunidos por un cemento cualquiera, llevan el nombre de *areniscas*: se llaman *brechas* si estos fragmentos son angulosos; de *pudingas* o de *conglomerados* si son bastante grandes i redondeados; en fin, si estos fragmentos son a la vez redondos i mui pequeños, forman las *gredas*, que pasan por grados insensibles a las *arcillas*, en las cuales los fragmentos elementales son



tan ténues, que la roca resultante de su reunion viene a ser homogénea.

### *Rocas graníticas*

La mas comun de las rocas graníticas es el *granito*, formado de una mezcla de cuarzo, feldespato i mica al estado cristalino. El cuarzo se encuentra jeneralmente en granos blancos o grises; la mica, en láminas negras, pardas, verdes o argentinas; el feldespato es blanco o rosado: muchos granitos contienen a la vez dos feldespatos de color diferente.

Cuando las láminas de mica están dispuestas paralelamente a una misma direccion, dándole un aspecto laminado a la roca, toma entónces ésta el nombre de *gneis*.

Cuando el cuarzo en lugar de estar en granos, está cristalizado, i la mica falta completamente, la roca toma el nombre de *granito gráfico* o de *pegmatita*. La arcilla llamada *kaolina*, materia prima para la fabricacion de la porcelana, resulta con frecuencia de la alteracion de esta última roca.

La *hyalomicta* o *greisen*, es un granito que casi no tiene feldespato.

En ciertos granitos la mica está reemplazada por el talco, i el granito toma el nombre de *protogina*; si esta roca toma el aspecto laminar, constituye entónces el *gneis talcoso*.

En otros granitos, la mica está reemplazada por la anfíbola, de un bello color verde, en la cual se encuentran jeneralmente los dos feldespatos blanco i rosado; resulta entónces una roca mui hermosa conocida con el nombre de *sienita*.

### *Rocas porfíricas*

Los pórfidos están compuestos de una pasta feldespática, ordinariamente rojiza, envolviendo cristales de feldespato. Cuando la masa envuelve tambien granos o cristales de cuarzo bipiramidales, la roca toma el nombre de *pórfido cuarzífero*. Cuando la masa es terrosa, la roca pasa a ser un *pórfido arcilloso*. Si los cristales desaparecen, la roca toma el nombre de feldespato compacto o *petrosilex*, o de feldespato resinita o *pechstein*, si la masa tiene ademas un lustre resinoso.

### *Rocas traquíticas*

Las *traquitas* son rocas compuestas de feldespato ortoclasia vidrioso de pequeños cristales, formando una pasta áspera al tacto, llena de células tapizadas de pequeños cristales i frecuentemente asociada al feldespato albita.

La presencia del cuarzo en granos o de cristales en las traquitas, dá oríjen a los pórfidos traquíticos, análogos a los pórfidos cuarzíferos.

La *domita* es una variedad particular de traquita, de grano mui fino, quebradiza i mui áspera al tacto, que forma una parte del Puy-de-Dôme i de sus cumbres vecinas.

Los terrenos traquíticos están asociados, en algunas localidades, a una especie vidriosa, gris o verde i globosa, que lleva el nombre de *perlita*, con una roca vidriosa, de fractura concoidea, de un verde negro mui pronunciado, llamada *obsidiana*: la piedra ponce es obsidiana, que se ha puesto fibrosa por el pasaje de una multitud de burbujas que la han atravesado verticalmente.

En fin, se debe referir a las rocas traquíticas la *phonolita*, o *klingsstein*, roca a la vez tabular i esquitosa, de fractura esquitosa, notable por su gran sonoridad.

### *Rocas amfibólicas*

Las *dioritas* son rocas compuestas de amfibola verde o negra, i de feldespato albita en cristales, jeneralmente partidos, presentando entónces un ángulo obtuso entrante. Cuando estos cristales están diseminados en una masa verdosa, la roca es un pórfido diorítico. Por la desaparicion de los cristales de albita, las dioritas pasan a *amfibolitas*, que son jeneralmente esquitosas; cuando son compactas toman el nombre de *córneas* u *ophanitas*.

### *Rocas piroxénicas*

Las *doleritas* están compuestas de piroxena verde o negra i de feldespato labrador; al estado porfírico constituyen los *melaphiros*.

Los *basaltos* difieren de los melaphiros en que la masa no contiene cristales aislados de labrador, i en que están jeneralmente



caracterizados por la presencia de granos cristalinos de obsidiana, de un amarillo verdoso. Las rocas *trapeanas* son compactas i negras como los basaltos, pero sus elementos se confunden.

La *cherzolita* es una roca de testura esquitosa, formada esclusivamente de piroxena, de un verde bastante claro.

### *Rocas serpentinosas*

La *hiperita* es una roca compuesta de feldespato labrador i de hiperstenita: es, por decirlo así, una especie de dolerita.

La *eufotita* es una roca compuesta de diálaga i de feldespato compacto.

La *serpentina* sólo forma, con frecuencia, masas considerables en el seno de la Tierra.

### *Rocas micáceas*

La *esquita micácea* o *mica-esquita*, es una roca esquitosa, compuesta de cuarzo i mica, que pasa por grados insensibles al gneis.

### *Rocas talcosas*

La *esquita talcosa* es una roca esquitosa, compuesta de cuarzo i de talco, con frecuencia asociada a las rocas verdosas conocidas con el nombre de *cloritas*.

### *Rocas de cuarzo*

El cuarzo compacto o *cuarzita*, forma capas poderosas en ciertos terrenos; cuando es negro toma el nombre de cuarzo de lídia.

El cuarzo *sílex* se encuentra, sobre todo, en riñones en los terrenos cretáceos.

### *Rocas calcáreas*

Las rocas calcáreas están mui esparcidas en la superficie del globo i presentan un gran número de variedades, cuyas principales son:

Las *calcáreas sacaroídeas* o mármoles estatuarios cristalinos, jeneralmente blancos o poco coloreados.

Las *calcáreas compactas*, que sirven como mármoles de ornamentacion, i piedras litográficas, etc.; tienen una fractura esquitosa,

concoídea o terrosa, i con frecuencia están coloreadas de amarillo, rojo, gris o negro, por óxidos de fierro o materias betuminosas.

Las calcáreas *oolíticas*, mui abundantes en algunas formaciones secundarias, han recibido este nombre porque están formadas de pequeños granos redondos, justapuestos, presentando cierta analogía con los huevos de pescado.

La *tiza* es blanca, terrosa, quebradiza i mui abundante en los terrenos calcáreos.

Las *calcáreas siliciosas* son blancas, compactas i se encuentran con frecuencia en los terrenos terciarios.

Las *calcáreas betuminosas* son compactas, terrosas, mas o ménos coloreadas de pardo i exhalan un fuerte olor a petróleo.

Las *calcáreas margosas* son terrosas, íntimamente mezcladas con arcilla, que se deslien fácilmente; cuando contienen la mitad de su peso de arcilla se llaman margas.

Todas las rocas calcáreas, indicadas mas arriba, hacen una viva efervescencia con los ácidos.

En fin, colocaremos entre las rocas calcáreas, la *dolomia*, que es un carbonato doble de magnesia i de cal.

### *Lavas*

La composicion no es sólo la que imprime a las masas minerales caracteres bastante definidos i constantes, para justificar clasificaciones particulares. Algunas veces, cierta manera de formacion, dá a las rocas caracteres indelebles, cualquiera que sea, por lo demas, su composicion; tal acontece con las rocas volcánicas actuales o lavas, i las rocas areniscas.

Las *lavas*, mui líquidas en el momento de esparcirse por los contrafuertes de los volcanes, se presentan, por esta razon, en capas jeneralmente bastante delgadas, porosas, escoriáceas, estiradas i algunas veces torcidas. Cuando son mui porosas se les llaman *escorias*; cuando se presentan en pequeños fragmentos *lapilli*, i *cenizas* cuando son polvo fino.

### *Areniscas*

Hemos visto que relativamente a su estructura, las areniscas se dividen en brechas, pudingas o conglomerados, gredas, arcillas i



margas. Las mas importantes de estas rocas, bajo el punto de vista de su composicion, son:

La *grauwacka*, roca, en jeneral, de grano bastante fino, compuesta de fragmentos de rocas antiguas, cuarzo, granito, pórfido, esquitas arcillosas i micáceas, reunidas por un cemento de esquita arcillosa o de arcilla. Esta roca gris o roja, pertenece a los terrenos de transicion; encierra frecuentemente bastante mica para llegar a ser esquitosa i toma entónces el nombre de *psammita*.

La *greda hullera* es análoga a la *grauwacka*; es de grano mas grueso i el cemento es siempre terroso.

La *greda roja* se compone de detritus de rocas antiguas, reunidos por un cemento arcilloso i arenoso, coloreado por el óxido rojo de fierro.

La *greda abigarrada*, de grano fino, de cemento arenoso i ferruginoso, encerrando algunas veces núcleos bastante grandes de cuarzo, se presenta ordinariamente abigarrada de rojo i de gris verdoso.

La *greda verde*, compuesta de granos siliciosos, reunidos por un cemento con frecuencia calcáreo o margoso, yace en la parte inferior del terreno cretáceo i se hace notar por la gran cantidad de puntos verdes que encierra.

Las *gredas de Fontainebleau*, colocadas en la separacion de los terrenos terciarios, inferior i medio, están compuestas de granos siliciosos reunidos por un cemento calcáreo o silicioso.

La *piedra de amolar* es una roca de los terrenos terciarios mas recientes, compuesta de granos de cuarzo, partículas de mica, con arcilla, restos i moldes de conchillas, aglomerados por un cemento calcáreo.

La *arkosa* es una greda compuesta de elementos de feldespato i cuarzo, que se encuentra frecuentemente entre los terrenos cristalinis i los terrenos sedimentarios.

Las *margas* i las *arcillas*, como producto de depósitos barrozos, existen en casi todos los terrenos.

---

Por lo que acabamos de esponer, se vé que se pueden dividir las rocas en dos grandes grupos.

Las del primero, de una composicion química jeneralmente sencilla, tales como las calcáreas, las gredas i las arcillas, se presentan en capas regulares que pueden separarse en hiladas mas o ménos

gruesas. Su naturaleza i su estratificacion, denotan, evidentemente, la accion sedimentaria de las aguas. En efecto, las unas, tales como las arcillas, las arenas movedizas o aglutinadas, las gredas, las puddingas, se han formado por medio del transporte mecánico; las otras, tales como las calcáreas i los tofos siliciosos, de la misma naturaleza que los depósitos actualmente formados por las fuentes minerales, han debido necesariamente ser depositadas, por vía química, en el fondo del líquido que las tenia en disolucion. Las rocas de esta primera categoría han recibido el nombre jénérico de rocas *sedimentarias*, *neptunianas* o *estratificadas*; envuelven jeneralmente restos orgánicos, vejetales o animales, reducidos al estado fósil, es decir, cuerpos cuya sustancia propia ha sido destruida i reemplazada por sustancias minerales.

Las del segundo son rocas análogas, por sus caractéres mineralógicos i por la forma de las masas que las constituyen, a las lavas lanzadas por los volcanes modernos. Estas rocas son cristalinas, rara vez estratificadas i afectan formas macizas; encierran minerales que se encuentran, no solamente en los productos volcánicos, pero aun en los hornos de nuestros injenios; frecuentemente han producido en el contacto de las rocas sedimentarias que atraviesan, alteraciones análogas a las que resultan de un fuerte calor. Se les designa bajo el nombre de rocas *cristalinas*, rocas *no estratificadas*, rocas *ígneas*, rocas *plutónicas* o de *erupcion*.

Los depósitos sedimentarios son jeneralmente horizontales, pero se les vé, en muchos paises, dislocados e inclinados; ademas, su elevacion en muchas cadenas de montañas demuestra que deben haber sido solevantados. Este solevantamiento de ciertas partes del globo, que no puede tener lugar, sin grandes perturbaciones, en la distribucion de las aguas en la superficie, está ligado a las erupciones ígneas. Hai, pues, en jeología tres séries de hechos mui diversos, a saber: 1.º los depósitos por sementacion; 2.º la erupcion de las rocas ígneas; 3.º los solevantamientos u oscilaciones de la corteza terrestre.

### 1.º—Terrenos sedimentarios

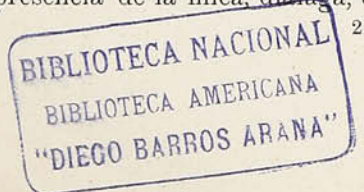
El carácter especial i distintivo de los terrenos de la série sedimentaria es la estratificacion, es decir, la division en capas. Cada



una de estas capas está ella misma jeneralmente dividida en hilas, o lechos distintos por las variaciones de color, de testura i de composicion, siendo sus planos de separacion paralelos a los de la capa. Esta estratificacion es un hecho inherente al oríjen de los depósitos sedimentarios; un depósito formado en las aguas, sea por precipitacion mecánica, sea por precipitacion química, debe hacerse necesariamente por lechos sucesivos i paralelos.

La horizontalidad de las capas es otra consecuencia necesaria de la formacion de los depósitos sedimentarios, aunque aparentemente no esté conforme con un gran número de observaciones. Se vé, pues, que siempre que la estratificacion de un depósito esté sensiblemente inclinada, este depósito debe haber cambiado de su posicion primitiva. El hecho de estas dislocaciones, se hace evidente por las diverjencias que se manifiestan frecuentemente en la estratificacion de las masas sedimentarias superpuestas. Así, cuando los planos de estratificacion de las diversas capas son paralelos, se dice que la estratificacion es *concordante*, i se puede suponer que su conjunto ha sido depositado en las mismas aguas; pero cuando este conjunto presenta una o muchas séries de capas, cuyas superficies de separacion están diversamente inclinadas, las unas con relacion a las otras, se dice que la estratificacion es *discordante*; i se debe necesariamente admitir que, estos diversos depósitos discordantes, han sido separados los unos de los otros por el movimiento de la corteza del globo, perteneciendo, por lo tanto, a formaciones distintas.

La sílice, la calcárea i la arcilla, ya puras, ya mezcladas entre sí, constituyen casi la totalidad de los depósitos sedimentarios; estas capas alternan con las rocas de trasporte o de agregacion, i algunas otras sustancias mucho ménos repartidas, tales como el carbon, el yeso i ciertos minerales de fierro. Una composicion tan sencilla parece oponerse a la distincion de los diversos terrenos bajo, el punto de vista mineral. Existen, sin embargo, caracteres diferentes para una misma roca en diversas posiciones jeológicas, que son fáciles de percibir, cuando se considera el conjunto del terreno, haciendo abstraccion de todas las escepciones de detalle. Así las calcáreas inferiores, compactas esquistosas o sacaroídeas, frecuentemente caracterizadas por la presencia de la mica, diálaga, carbon,



etc., se distinguen sin trabajo de las calcáreas compactas, litográficas, oolíticas, o de la tiza, de las formaciones siguientes, i esta misma no puede ser confundida con la calcárea grosera, siliciosa o margosa de los terrenos sedimentarios superiores. La presencia i la abundancia mas o ménos considerable del carbon, de la sal gema, de la cal sulfatada, etc., suministra, con frecuencia, indicaciones mui precisas sobre la edad i naturaleza del terreno que las encierra. En una palabra, los caracteres mineralógicos, considerados aisladamente, no bastan para dar a conocer un terreno; su conjunto sólo puede indicar su naturaleza.

Los restos orgánicos, que encierran con tanta frecuencia los depósitos sedimentarios, dan tambien indicaciones mui importantes para las indagaciones jeológicas, aunque el número de fósiles que se pueden mirar como característicos, es decir, como pertenecientes esclusivamente a una formacion, sea mui reducido; pero como hai fósiles de muchos animales, sólo considerando su conjunto se puede llegar a justas apreciaciones.

Por lo que se vé, la superposicion i la continuidad de las capas son los sólo caracteres que se pueden mirar como infalibles para reconocer las formaciones sedimentarias. Los caracteres mineralógicos i palentoológicos vienen sólo en segundo lugar; pero si están netamente determinados i de acuerdo constante en sus indicaciones.

Una *formacion* sedimentaria es, segun lo que acabamos de ver, el conjunto de capas depositadas en el intervalo de tiempo que ha separado dos revoluciones sucesivas del globo.

Los caracteres distintivos de una formacion independiente son:

1.º El órden de colocacion i la estratificacion: una formacion independiente puede reposar casi indistintamente sobre todas aquellas que le han precedido, i presenta con ellas, así como con las formaciones recientes que la cubren, discordancia de estratificaciones mas o ménos frecuentes.

2.º A pesar de las numerosas anomalías que puede presentar una formacion, casi siempre tiene caracteres de composicion que le son propios, sea que resulten de la naturaleza misma de las rocas, sea que ellos provengan de sustancias accidentales, sobre todo cuando se considera esta formacion en paises o lugares bastante cercanos.



3.º Los caracteres orgánicos, sea que resulten de la presencia de ciertos fósiles, que se encuentran especialmente en una formación o que se encuentren en cierta abundancia característica, sea que provengan de la ausencia total de los que determinan las formaciones vecinas.

En jeneral, dos formaciones superpuestas están distintamente separadas la una de la otra, aun cuando su estratificación sea concordante, si ellas no se siguen inmediatamente en la escala jeognóstica. En este caso, los caracteres precedentes se modifican netamente al partir de una línea determinada. Pero no pasa esto jeneralmente con dos formaciones consecutivas: se vé las capas superiores de la una alternar con las capas inferiores de la otra, i los caracteres mineralógicos i jeológicos fundirse i modificarse gradualmente, de tal suerte que no hai un cambio completo sino despues de hacer abstracción de una cantidad de capas mas o ménos considerables.

Las formaciones se subdividen en otras que pueden diferenciarse entre sí por una composición del todo distinta, o simplemente por la desigualdad del desarrollo de ciertas rocas. Estas pueden a su vez subdividirse hasta llegar a constituir mantos aisladamente.

La denominación de *terreno* tiene una acepción mas vasta que la de formación. Un terreno puede comprender muchas formaciones, reunidas entre sí por analogías mas o ménos notables, de tal suerte que los terrenos representan los intervalos que han trascurrido entre las grandes revoluciones del globo; mientras que las formaciones que subdividen estos intervalos estarán separadas entre sí por revoluciones que, sin modificar grandemente la configuración de los mares i de las masas continentales, habrán, sin embargo, modificado las circunstancias de estratificación, como la generación de las rocas, e introducido cambios notables en la série orgánica.

Si se trata de establecer en la série sedimentaria las mayores subdivisiones posibles, se reconoce que hai principalmente dos terrenos que cumplen con el papel de establecer grandes horizontes jeognósticos. El primero, es el terreno hullero, caracterizado por una cantidad mui grande de carbon, por un gran desarrollo de las rocas areniscas i por restos orgánicos, sobre todo vejetales, mui numerosos i mui diferentes; este terreno, siendo jeneralmente es-

plotado, es, por lo tanto, mejor conocido i las discordancias de estratificacion que lo aislan, casi constantemente de los terrenos inferiores i superiores, demuestran ademas que está colocado entre las dos principales revoluciones del globo. En segundo lugar, se encuentra el terreno cretáceo, que está a la vez mui desarrollado i mui bien caracterizado bajo el punto de vista mineralógico como paleontológico.

Los caractéres definidos de estos dos terrenos, han determinado, desde el nacimiento de la Jeología, la subdivision de los terrenos sedimentarios en terrenos de transicion, terrenos secundarios i terrenos terciarios.

La série de los *terrenos de transicion*, que comprende el terreno hullero i todos los terrenos inferiores, hasta los terrenos primitivos, está principalmente compuesta de esquitas, de rocas de agregacion i de calcáreas cristalinas, que toman frecuentemente colores oscuros, siendo la estructura esquitosa lo que parece caracterizar la mayor parte de estos depósitos; estos son, a mas, notables por las dislocaciones i trastornos que han experimentado: carácter fácil de explicar, por lo demas, puesto que estos depósitos, siendo mas antiguos, deben de haber sido necesariamente afectados por las oscilaciones de la corteza terrestre, que han tenido lugar durante los períodos siguientes. Los séres organizados comienzan a desarrollarse en este período, i se ven a mas de numerosos vejetales, animales colocados en la ínfima escala orgánica, tales como los *encrines* (parecidos a pequeñas palmeras animadas), los *productus* (molusco de concha inflada, frecuentemente lleno de espinas), las *tribolitas* (crustáceo cuyo cuerpo se divide en tres partes: la *cabeza*, el *pecho* i el *abdómen*), los *nautilos*, etc.

La série de los *terrenos secundarios* abraza todos los depósitos comprendidos entre el límite superior del terreno hullero i el límite superior del terreno cretáceo; esta série es la mas poderosa i la mas variada. Las gredas, las calcáreas, las arcillas, forman casi toda la masa; i los minerales de fierro, el yeso, la sal gema, se encuentran en capas i en *amas* cuya abundancia es jeneralmente característica. Muchos fósiles, tales como las *amonitas*, las *belemnitis*, las *grifeas*, etc., comienzan i concluyen con este período, durante el cual se vé desarrollar los animales vertebrados.



La série de los *terrenos terciarios*, que comprende todos los depósitos superiores al terreno cretáceo, se compone principalmente de calcáreas, de gredas i de arcillas; pero se nota la disminucion gradual de la influencia de los agentes químicos. Las rocas son ménos compactas, las capas jeneralmente han conservado su horizontalidad, i los restos orgánicos son mas numerosos i mas variados que en la série precedente. Se ven aparecer los mamíferos, representados tanto por animales que ya no existen, como los *anoplothériums* (mamífero del tamaño de un asno mediano, con dos dedos en las cuatro patas i dientes en la boca, dispuestos como los del hombre, con una fuerte cola que le permitia apoyarse en ella), el *paleonterius* (parecido al tapir), el *mastodonte* (elefante gigantesco, con las muelas parecidas, por sus puntas romas, a las del hombre), etc.; tanto por especies análogas a las actuales, tales como los elefantes, los rinocerontes, las hienas, los osos, los ciervos, etc.; las conchas marinas i fluviales entran en gran número, i no presentan sino una analogía mui lejana con las conchas del período secundario. Un gran número de ellas, por el contrario, tiene sus analogías con las especies actuales. Las *ceritas*, las *turritelas*, las *cythereas*, etc., son las mas características.

Establecidas estas tres grandes divisiones, vamos a enumerar rápidamente cada una de las formaciones que la componen, empezando de arriba abajo, desde los aluviones que se forman en nuestros dias, hasta los terrenos primitivos.

#### ALUVIONES

Los aluviones modernos, que continúan formándose cada dia, están jeneralmente compuestos de arenas i cascajos, rodados en capas irregularmente estratificadas i sueltas.

Aquí debemos mencionar la turba que se ha formado en este período cuaternario. La turba se forma en los lugares frios, donde las aguas son claras i poco corrientes.

#### TERRENOS TERCIARIOS

Los terrenos terciarios han sido divididos en tres distintos grupos.

El terreno *terciario superior* es aun, esencialmente, un terreno

de transporte i comprende la piedra de moler, que está formada de pequeños granos de cuarzo con un poco de feldespato, de calcárea i algunas hojillas de mica, todo cementado por una pasta calcárea que equivale como al tercio de la masa. Cuando los granos de cuarzo son bastante gruesos i las gredas toman el aspecto de una pudinga, recibe el nombre de *nagelfluh*. Sirven en Francia i Suiza de materiales de construccion de calidad ménos que mediana. Las arenas de las Landas, los aluviones de la Bresia, etc., pertenecen tambien a esta época.

El terreno terciario *medio* se compone, en la parte superior, de depósitos areniscos de oríjen marino, conocidos bajo el nombre de *faluns*, ya arenosos i encerrando una multitud de conchas en parte quebradas, ya aglomerados por un cemento calcáreo; estos últimos cubren una parte de la Lorena i del Loira-Inferior. La parte média se compone, alternativamente, de capas de calcárea de agua dulce i de arenas con piedras de moler; encierra frecuentemente lignitas en el mediodia de la Francia i la Alemania. La base de este terreno está formada por las gredas conocidas bajo el nombre de *gredas de Fontainebleau*.

Probablemente a esta época pertenece el terreno carbonífero de Chile, que se estiende desde la bahia de Talcahuano hasta el Estrecho de Magallanes a lo largo de la costa, internándose sólo algunos en puntos, como en Lebu, cinco o seis leguas. Jeneralmente en Lota i otros puntos solo hai algunas cuadras en la costa de esta formacion, internándose casi toda ella hácia el mar. Está compuesta de capas de areniscas de diversos colores, aglomeradas sin que hayan, en jeneral, recibido la accion metamórfica de ningun elemento, alternando con capas de arcilla, colocadas, jeneralmente, en el techo de los mantos carboníferos, con impresiones de plantas marinas. En Lota hai dos mantos esplotables, i en las minas de Curanilahue hai tres, poco inclinados i de una potencia média como de un metro. La formacion chilena se apoya directamente en la mica-esquita, terreno cristalino perteneciente a la época primitiva.

El terreno terciario *inferior* se divide igualmente en tres escalas. La superior, esencialmente compuesta de margas con masas lenticulares de yeso; es a este terreno que pertenecen todas las canteras de yeso de la hoya parisien. La escala média es de calcárea tosca



que suministra toda la piedra de construccion en Paris, siendo un material de primer orden. En fin, la base de este terreno se compone de arcilla plástica que encierra con frecuencia capas de lignita.

#### TERRENOS SECUNDARIOS

Los terrenos secundarios comprenden, considerándolos de arriba abajo: el terreno cretáceo, el terreno jurásico, el terreno del trias i el permeano.

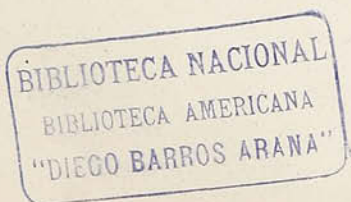
##### *Terreno cretáceo*

El terreno cretáceo está formado de dos capas: la superior, compuesta, jeneralmente, de creta blanca con riñones de sílex depositados en lechos, i en capas sin sílex; la capa inferior compuesta de tofo cretáceo, de gredas verdes, arcillas i gredas, i arenas ferruginosas.

##### *Terreno jurásico*

El cretáceo inferior i el jurásico, caracterizado por la abundancia de amonitas, como en Caracoles, estiéndese al norte del paralelo 24, en Chile, presentándose bajo la forma de dos fajas paralelas, separadas una de otra por rocas de épocas mas antiguas. La primera de éstas ocupa la parte mas alta de la cordillera de los Andes i se aleja poco de la línea de vertientes. La segunda, sigue la falda oriental de la cordillera de la costa i varias de sus secciones se estienden por el valle longitudinal.

Las primeras estratas calcáreas aparecen al norte del grupo de los volcanes de Maipo, siendo ellas las que forman la cumbre de la cordillera, desde dicho volcan hasta el Tupungato, estendiéndose hasta la falda oriental del Juncal; dá esta formacion una vuelta hácia el suelo argentino pasando por el cerro de la Tolosa i los contrafuertes del Aconcagua, para caer en seguida, del lado de Chile, hácia el Huasco por la cordillera de Peralta. Las estratas, que forman este ramal, tienen una inclinacion bastante considerable hácia el norte, i en la parte inferior aparecen las areniscas i las margas; viene en seguida la caliza compacta que llega hasta la cumbre i en la falda norte se encuentra la sílex. Las estratas in-



feriores vuelven a aparecer hácia el norte de este ramal i se prolongan hasta los cerros de Agua-Amarga, Tunas i de Tres Cruces.

Despues de haber sido cortada por la quebrada del Huasco, aparece de nuevo la misma formacion en la placilla del Cármen, en las cordilleras de Manflas, de Pulido i de Jorquera, de donde se estiende hasta el cerro de la Ternera i la meseta de Tres Puntas; en fin, continúa presentándose así, de trecho en trecho, en las cordilleras de Atacama, como en la quebrada de la Encantada, al pié de los cerros de doña Inés i de Llullaillaco, Caracoles, Santa Rosa i Huantajaya.

La faja occidental principia un tanto al norte de Santiago, en los cerros de Colina i Batuco, estendiéndose en una gran parte de la hacienda de Polpaico i llega hasta la falda del cordon de Chacabuco. En este primer trecho, las estratas tienen poco espesor; las inferiores constan de margas algo arenosas, en las cuales se encuentran algunas estratas mui delgadas de caliza compacta, i las superiores son casi esclusivamente de sílex o de una caliza que contiene una gran cantidad de esa materia.

Al norte del cordon de Chacabuco se vuelven a encontrar las calizas, ocupando pequeños espacios a lo largo del valle de Aconcagua, desde Santa Rosa de los Andes hasta Purutun. A medida que esta formacion se estiende hácia el poniente, la caliza compacta se hace mas abundante; la de la Calera contiene ya bastantes fósiles, pero el punto mas notable es el del Melon, donde toma la formacion todo el aspecto de los terrenos cristalinos. Esta formacion vuelve aparecer, al norte en Arqueros, i toma todo su desarrollo en Chañarcillo, célebre por sus ricas minas de plata; principia la formacion de este macizo en el cerro de la Jaula, como a media distancia entre Chañarcillo i Vallenar i se estiende al norte hasta el cerro del Checo. Es la parte de Chile donde está mas desarrollada la formacion calcárea; pues las tres subdivisiones se hallan allí reunidas, presentando en la parte inferior las areniscas, las margas en la parte média i las calizas compactas i siliciosas en la superior. Despues, esta formacion se estiende a Cerrillos i Pampalarga i va a envolver la falda meridional del Checo, volviendo despues a aparecer en la sierra de la Esmeralda i en el mineral de la Florida hasta desaparecer en Huantajaya, que está a orillas del mar i donde



tiene esta formacion un poder tanto o mayor que el de Chañarillo.

Las areniscas i las margas contienen muchas conchas petrificadas, grandes amonitas, etc. Estas rocas son, pues, de oríjen marino; la ausencia de conglomerados i aun de las areniscas de grano grueso, indica que han sido depositadas en mares tranquilos i a cierta distancia de las costas. Se vé, por otra parte, que esta formacion está grandemente despedazada, i que, lo que se vé hoi dia, no es sino trozos mui pequeños de la gran porcion que debia ocupar; en fin, las alturas tan diferentes, donde suelen presentarse estos trozos, atestiguan los grandes trastornos, que desde dicha época ha debido experimentar el suelo de Chile.

### *Terreno del trias*

El *terreno del trias*, o *terreno-keuperiano*, se divide en tres: la formacion de margas irrisadas, que está caracterizado por la abundancia de depósitos de yeso i de sal; la formacion de muschelkalk, calcárea ordinariamente compacta, gris, frecuentemente fétida, magnesia i mui fosilífera; i en fin, la formacion de gredas abigarradas.

Esta formacion ocupa poca estension en Chile i i solo se encuentra en las provincias centrales, mas al norte del grado 38. En la provincia de Santiago ocupa parte de las altas cumbres. Donde está mas desarrollada esta formacion es en el Huasco, donde se estiende desde Arqueros hasta Vallenar.

La formacion de las arcillas yesosas no presenta ningun vestijio de conglomerados en Chile; las areniscas son de un grano mui fino; i esta circunstancia, unida a la presencia de poderosos bancos de yeso, indican que las estratas que la forman han debido depositarse mui lentamente i en medio de aguas mui cargadas de materias salinas.

### *Terreno permeano*

El terreno permeano comprende tres formaciones distintas: la greda de los Vosges, el zechstein i la greda roja. La formacion de las gredas de los Vosges es notable por no contener ningun resto de seres orgánicos, como en las otras formaciones secundarias.



La formacion del zechstein se compone, esencialmente, de esquistas margo-betuminosas, con numerosas impresiones de peces, i algunas capas son tan ricas en cobre que se esplotan como minerales de cobre (Mansfeld). La formacion de gredas rojas, situada en la base del terreno permeano, se compone alternativamente de gredas grises i rojas.

Esta formacion cubre una gran parte de los Andes, principalmente en la hacienda de Jorquera, pasando tambien a la Argentina. En Coquimbo tiene esta formacion depósitos de cobre, como el de Andacollo. En Atacama i Coquimbo contiene abundantes depósitos de manganeso i minas de cobre i plata.

Esta misma formacion se estiende al norte i forma en la provincia de Antofagasta el célebre mineral de cobre de San Bartolo; abarca, en fin, el centro de la altiplanicie boliviana donde están las famosas minas de *Corocoro*, la *Chacarilla*, *Turco* i varias otras.

#### TERRENO DE TRANSICION

Los terrenos de transicion presentan, igualmente, cuatro subdivisiones: el terreno hullero i los terrenos de transicion superior, medio e inferior.

##### *Terreno hullero*

El terreno hullero se subdivide en dos: el superior, que constituye el terreno hullero propiamente dicho, se compone alternativamente de gredas i esquistas con capas intercaladas de hulla i frecuentemente de fierro carbonatado; el piso inferior se compone de calcárea carbonífera i de gredas, que encierran con frecuencia capas de hulla.

La distribucion jeográfica del terreno hullero tiene una importancia considerable, bajo el punto de vista económico, puesto que él suministra la mayor parte del combustible que consume la industria.

En Francia el terreno hullero ocupa la  $\frac{1}{150}$  partes del territorio.

La Gran Bretaña, i sobre todo Inglaterra, es el pais mas favorecido bajo el punto de vista de la riqueza hullera. Este terreno ocupa la  $\frac{1}{18}$  de la superficie total; la esplotacion de la hulla es mui abundante i es mui activa i suministra como el 40 por ciento de la

produccion del mundo. Las capas de hulla rara vez tienen una potencia mayor de 2 metros en Inglaterra; pero se suceden alternando con las arcillas i gredas, que contienen núcleos de fierro carbonatado, o capas delgadas de él, hasta formar un espesor, suponiéndolas reunidas de 30 metros. Por un mismo pozo pueden, pues, explotar el carbon, la arcilla para la construccion de sus hornos de ladrillos refractarios i obtener su mineral de fierro. Este es el gran secreto de la industria de Inglaterra i la base principal de su riqueza.

Los Estados Unidos, Rusia, Alemania, Bélgica i Australia, están favorecidos mas o ménos por el desarrollo de esta formacion.

### *Terreno devoniano*

El *terreno de transicion superior* (terreno de las antiguas gredas rojas de los alemanes, terreno devoniano de los ingleses), se compone principalmente de gredas rojas i de grawacka. Se le ha dado tambien el nombre de terreno antracitoso, porque en Europa encierra antracita con alguna frecuencia.

Las rocas que constituyen esta formacion en Chile son algunos conglomerados, areniscas, esquitas antracitosas, jaspes i pórfidos estratificados. Los conglomerados sólo se presentan en un pequeño número de localidades, en una estrata de gran espesor.

Las areniscas están compuestas en su mayor parte, de pequeños granos de cuarzo, unidos entre sí por una masa arcillosa; adquieren a veces una estructura esquitosa, la cual es debida a una pequeña cantidad de mica que se encuentra mezclada con la arcilla. Estas areniscas ocupan un lugar importante en la formacion antracitosa; pues se las vé alternar en la parte inferior, con la esquita i ocupar solas toda la parte superior de este terreno.

Las esquitas se encuentran, sobre todo en las provincias del sur, variando su color, del pardo oscuro al negro. Están formadas de arcilla endurecida, de una cierta cantidad de arena mui fina, conteniendo, ademas, algunas hojillas de mica, i algunos vestijios de antracita, que es la que les dá su color mas o ménos negro.

Las rocas de formacion antracitosa no presentan siempre los caracteres que acabamos de indicar, pues a medida que se estienden hácia el norte, se las vé mudar gradualmente de aspecto i de com-



posicion, i transformarse en petrosilex, pórfidos, jaspes i esquitas siliciosas; así es como suelen presentarse en toda la parte situada al norte de la provincia de Talca. Los pórfidos i los petrosílex, que son de un color gris o verdoso, descansan sobre las esquitas cristalinas.

La formacion antracitosa se presenta sobre toda la estension de Chile i ocupa una gran parte de su superficie. Cerca de la estremidad sur del continente, se la vé apoyarse sobre las rocas graníticas, que forman el eje de los Andes. Desde Arauco hasta Llanquihue se encuentran al pié de la cordillera de los Andes, pasan despues al oeste del valle longitudinal; como en Pocilas i Talca, i toma hácia el norte, mas i mas desarrollo. Los cerros de Batuco, La Petaca, la Campana de Quillota i Tavolango pertenecen a esta época.

### *Terreno siluriano*

El *terreno de transicion medio*, o terreno siluriano, se compone de calcáreas, de pizarras i de gredas cuarzíferas.

El carácter jeneral del sistema siluriano es su aspecto esquistoso, como puede verse en toda la rejion de Oruro i parte de Potosí. La cordillera Real de Bolivia en su falda occidental, que limita la gran altiplanicie de Bolivia, está compuesta de rocas esquistosas; en su pié encontramos en mayor o menor abundancia cerros de pizarra negra, sobre éstas se apoyan areniscas verdes i a mayor altura, o sobre la parte superior, calcáreas esquistosas mas o ménos gruesas. Cuando tienen un espesor de dos o tres decímetros i al lado de las vetas de plata toma la roca jeneralmente un aspecto azulejo. Esta formacion está quebrantada, de trecho en trecho, por erupciones traquíticas de pórfidos cuarzíferos que han seguido dos líneas paralelas: una en la línea de la cumbre, como Potosí i Colquechaca, i otra, a cierta distancia de la cordillera o en su falda poniente, que dá oríjen a los famosos cerros de Pulacayo (Huanchaca), Guaraicollo, Oruro i Sicasica. En las gredas verdes i principalmente en la calcárea azul se encuentran grandes i poderosas vetas de estaño, como en Guanuni, Morocold, etc., o bien minerales de blenda arjentífera, como Ichocollo, Guanuni de Arriba i otros mas o ménos importantes. En los contactos, o cerca de ellos, de la pizarra siluriana con las gredas, i sobre todo con las calcáreas, se encuentran poderosas vetas de contacto, como las de Poopo.

Hai jeólogos que han clasificado esta formacion en la carbonífera inferior i otros en la permeana. Al colocarla en la siluriana, he tenido presente su aspecto esquitoso, el estar debajo de las areniscas permeanas de Corocoro, i en parte por los fósiles que contiene tales como la ostra (Silurian Lamellibranch).

Creo igualmente que gran parte de los cerros que se estienden por la falda oriente de los Andes en la Argentina, pertenecen a la misma formacion.

### *Terreno cambriano*

En fin, el *terreno de transicion inferior* o *terreno cambriano*, se compone de calcáreas compactas i esquitosas, i de esquitas arcillosas.

### TERRENOS PRIMITIVOS

Todos los terrenos sedimentarios que acabamos de enumerar, reposan sobre los terrenos primitivos o ígneos, que no encierran rastro alguno de seres organizados i están compuestos de rocas graníticas.

### 2.º—Terrenos ígneos

Las rocas ígneas son jeneralmente cristalinas, compuestas de diversos minerales, sujetos a ciertas leyes de asociacion. Estos minerales, que entran en pequeño número, son el cuarzo, los feldespatos, la piroxena, la amfibola, la mica, el talco, la serpentina, el peridot u olivina, el fierro oxidado, etc.; i estos diversos minerales están sujetos, en sus afinidades, a asociaciones, que parecen inherentes a su naturaleza, i como el resultado del estado especial del globo en ciertas épocas. Como ejemplo citaremos el cuarzo, que siendo tan abundante en los granitos, lo es mucho ménos en los pórfidos, mui raro en las traquitas i falta completamente en las lavas modernas. Como ejemplo de afinidades i antipatias mineralógicas que no se pueden atribuir sino a la naturaleza misma de los minerales, citaremos la afinidad del fierro oxidado i de la serpentina, de la obsidiana i de la piroxena en los basaltos; la repulsion constante del feldespato i de la obsidiana, de la amfibola i de la piroxena. Estas leyes de asociacion hacen comprender cómo es que el número de



las rocas ígneas sea tan poco considerable, relativamente a lo que podríamos suponer.

Las rocas ígneas afectan ordinariamente formas macizas no estratificadas; frecuentemente constituyen solas los grupos o cadenas de montañas; pero con mas frecuencia aun no forman mas que una parte, sea que ellas coronen las cimas, sea que aparezcan en su base. Las masas ígneas que se encuentran superpuestas aisladamente sobre la superficie de la Tierra, figuran ya cerros redondeados, ya murallas dentadas o recortadas. Las formas planas i rebajadas, coronando cumbres de otra composicion o naturaleza, son igualmente mui frecuentes. Cuando las masas ígneas han penetrado en los terrenos sedimentarios preexistentes, se presentan jeneralmente bajo la forma de filones o masas que cortan la estratificacion, i cuya potencia varia, desde algunos decímetros hasta muchas centenas de metros; sus afloramientos algunas veces difíciles de seguir se prolongan otras veces bajo forma de altas murallas, en muchas leguas de estension; en fin, se las encuentra algunas veces en masas, intercaladas en el sentido de la estratificacion, con una regularidad tal que parecen sedimentarias.

En resúmen, los terrenos ígneos son mucho mas notables por la forma i la altura de sus masas que por su estension superficial; resulta que presentan rara vez ejemplos de superposicion entre sí, que permitan determinar su edad relativa; i como bien puede ser que las diversas partes de un mismo terreno no sean contemporáneas, la época de su erupcion no puede ser determinada sino con relacion a los depósitos sedimentarios.

La presencia de rocas ígneas está íntimamente ligada a los trastornos que ha experimentado la corteza terrestre. Estas rocas forman con frecuencia el eje de una cadena de montañas que se ha solevado al traves de una série mas o ménos compleja de depósitos sedimentarios; en este caso, son por decirlo así, el eje mineralógico de la cadena, encontrándose los terrenos sedimentarios en el mismo orden en cada falda. Otras veces las masas ígneas se encuentran alineadas al pié de la cadena; pero, entónces, hai gran probabilidad que su erupcion no sea contemporánea al solevamiento i que no haya tenido lugar sino a consecuencia de movimientos posteriores. En uno i en otro caso, la direccion de estas

masas será paralela a la direccion de la cadena i por consiguiente, al de las capas sedimentarias.

Si el solevantamiento en lugar de haber tenido lugar segun la direccion de una línea recta, no se ha producido mas que en un punto de la corteza, los depósitos sedimentarios superpuestos habrán sido solevantados hácia ese punto central, en el cual converjen; pero en este caso, las capas no teniendo bastante elasticidad para prestarse a la estension que exige un movimiento tal del suelo, se han roto jeneralmente, dejando en el centro una cavidad circular, a la que se ha dado el nombre de *cráter de solevantamiento*.

Jeneralmente, en el centro de este cráter se encuentran las rocas ígneas, contemporáneas al solevantamiento.

#### ROCAS METAMÓRFICAS

Bajo el punto de vista mineralógico, parecerá a primera vista que productos inorgánicos tan diferentes como las rocas ígneas i las rocas sedimentarias deberian siempre ser mui diversas. Esta distincion es, en efecto, fácil de hacer todas las veces que estas rocas han quedado tales como la sementacion las ha colocado; pero cuando han estado en contacto con las rocas ígneas, las influencias enérgicas de temperatura i de presiones a las que han estado sujetas han alterado mas o ménos su naturaleza primitiva, de tal suerte que un centro de erupcion de rocas ígneas es casi siempre, para los depósitos sedimentarios, un centro de alteraciones que va continuamente disminuyendo a medida que uno se aleja de este punto, pero que se propaga tanto mas cuanto la accion ha sido mas viva i la roca sedimentaria mas alterable. Las rocas así modificadas han recibido el nombre de *rocas metamórficas*.

Estas alteraciones son fáciles de explicar, cuando los principios constituyentes han quedado los mismos: así, las gredas frecuentemente se han cambiado en cuarzitas, por el contacto de las rocas ígneas; las calcáreas en mármoles estatuarios, las grauweekas en gneis. Pero no es lo mismo cuando nuevos principios se han introducido: así las calcáreas con frecuencia se han cambiado en dolomías; rocas de composicion mui sencilla se han penetrado de cristales de amfibola, de piroxena, de granates i de otros minerales que parecen de oríjen ígneo. Estas reacciones no sólo han producido



las modificaciones de las rocas; los depósitos metalíferos, las materias que llenan un gran número de vetas i de cavidades, parecen en su mayor parte provenir de fenómenos de la misma naturaleza. Estas alteraciones de las rocas tienen lugar jeneralmente en una vasta escala: comarcas mui estensas, tales como los Alpes han tomado un aspecto mineralógico evidentemente del todo diferente al que tenían primitivamente.

Los cambios han sido mas intensos i numerosos en los depósitos mas antiguos, i se esplica fácilmente la relacion casi íntima que existe entre los primeros depósitos sedimentarios i las rocas ígneas las mas antiguas i los trastornos mayores i numerosos de estas épocas.

Creemos oportuno compendiar aquí un artículo de M. A. Dautbreé sobre el papel mineralizador que desempeñan las aguas subterráneas.

El jénesis de los minerales, es una de las cuestiones mas interesantes de su historia.

Pero el problema no podia ser resuelto, ántes que los jeólogos hubiesen suministrado los datos precisos sobre las condiciones del depósito. Soluciones satisfactorias han sido obtenidas recientemente para un cierto número de especies minerales: las esperiencias sistemadas, colocándose en las circunstancias que parecen haber precedido a su formacion han conseguido reproducirlos con sus formas cristalinas i todos sus caracteres esenciales; han completado la demostracion desde su oríjen. Gracias a este modo de investigar se ha llegado a reconocer que muchos de los minerales son debidos a la intervencion de las aguas subterráneas.

Lo que demuestran los animales i vejetales fósiles, conocidos desde hace tiempo con el nombre de petrificaciones, es un cambio del estado químico que evidentemente estos fósiles han experimentado.

Así, hai conchas i plantas, perfectamente conservadas en sus menores detalles, que no están constituidas por el carbonato de cal, como ciertamente lo eran en vida del animal: una sustancia esencialmente diferente, el cuarzo, ha reemplazado al carbonato de cal. En otras ocasiones, la pirita, el sulfato de barita han penetrado i cristalizado en las cavidades que ocupaban los cuerpos de estos

invertebrados. Para producir estas petrificaciones se ha necesitado una sustitucion molecular, gradual i lenta, capaz de conservar los órganos mas delicados de las diversas plantas. Un líquido, como el agua, ha podido sólo producir estas sustituciones de un cuerpo a otro, depositando las sustancias que tenia disueltas.

Cambios debidos del mismo modo a una influencia ácuea han dado origen a masas redondeadas llamadas riñones, confundidos a veces con productos orgánicos, aunque sean enteramente minerales. El sílex, que es una variedad de cuarzo, se presenta con frecuencia bajo esta forma tuberculosa; se han encontrado estos riñones, alineados paralelamente a la estratificacion de la creta en las canteras de Meudon i en una mas vasta escala en las escarpadas riberas de la Normandia. Este sílex se ha producido despues que las capas se habian depositado i ha envuelto con frecuencia fósiles sobre los que se ha modelado.

Existen riñones análogos por el modo de producirse, pero de naturaleza calcárea.

Los depósitos cuaternarios los mas recientes, como el limon diluviano, presentan un gran número. Esta forma aparece con frecuencia en el fierro carbonatado, sobre todo abundante en las arcillas del terreno hullero, que es explotado en muchos condados de la Gran Bretaña.

Se encuentra fierro en bolas de un brillo metálico i de un color de amarillo de laton, cuya superficie esta erizada de puntas cristalinas. Están formadas de piritas o de bisulfuro de fierro i abundan en la creta, en la arcilla plástica i en las rocas carbonatadas.

Las sustancias así concrecionadas parecen haber sufrido la influencia de un vehículo líquido como el del agua de las canteras. La tendencia de la materia disuelta a reunirse en esferas, bajo la influencia de la atraccion, ha sido contrariada por la desigual resistencia de la masa de la que debia aislarse; de ahí esas formas tuberculosas.

Respecto de los betunes negros llamados arborescentes, cuyas formas imitan la del musgo, como las ágatas herborecentes, el depósito es del todo inorgánico: el agua, ramificándose por efecto de la capilaridad, en grietas mui delgadas, ha depositado el óxido de manganeso.



Los mármoles vetados, tan comunes en ciertas localidades, muestran con mucha evidencia otra manera de accion de las aguas subterráneas. Su elegante aspecto es debido a pequeñas venas de carbonato de cal blanco i cristalino, que serpentean en una masa de color oscuro i de naturaleza amorfa, aunque de la misma composicion química. Grietas cruzadas en todo sentido, hánse producido, primero en la roca, bajo la influencia de las acciones mecánicas; despues las cavidades así abiertas han servido de canales al agua que, en su pasaje, ha disuelto una parte de la sustancia para depositarla en seguida, purificada por la cristalización; hecho análogo al que presenciamos todos los dias en nuestros laboratorios. La estructura vetada es la mas frecuente en las calcáreas de las rejiones dislocadas; los Alpes, en escarpes de una longitud considerable, presentan un ejemplo semejante.

Tambien se han operado modificaciones en las rocas eruptivas, bajo la influencia de las aguas, que las atravesaban; pero ofrecen un carácter diferente de las que acabamos de ver, no solamente a causa del calor que existia, pero tambien a consecuencia de la composicion misma de estas rocas.

Diversas especies minerales, agrupadas bajo el nombre de zeolitas, se presentan en las masas eruptivas, en cristales tapizando innumerables cavidades, tales como se ven hoy dia producirse aun en las lavas volcánicas actuales, por el desprendimiento de vapores que estas lavas exhalan hasta el momento de su solidificacion. Se reconoce fácilmente que estas zeolitas no se han formado al mismo tiempo que la roca madre, sino despues que esta se ha solidificado. Afectan siempre exactamente una misma disposicion, cualquiera que sea la edad de la roca.

Frecuentemente la ágata le está asociada como en Oberstein, en el Palatinado, donde se ha explotado esta piedra desde la antigüedad i en el Uruguay donde se explota hoy dia. Estas zonas concéntricas, aplicadas las unas sobre las otras por capas sucesivas, atestiguan jeneralmente un depósito gradual de naturaleza evidentemente álcua. Las aguas incrustantes producen a nuestra vista depósitos decarbonato de cal de una estructura idéntica. Respecto a los variados colores de las zonas sucesivas de la ágata, que se utilizan para la fabricacion de los camafeos, corresponden a débiles

variaciones en la naturaleza del líquido precipitante. Los limpios cristales de espato de Islandia, a los cuales la física le es deudora de los importantes descubrimientos de la doble refracción i de la polarización de la luz, están asociados a las zeolitas, en las cavidades de las antiguas lavas.

En lugar de las vagas o erróneas conjeturas a que se había recurrido para explicar el origen de estos terrenos, poseemos una demostración, por decirlo así, experimental que explica todos los detalles de la manera mas completa.

Examinando atentamente los ladrillos de antiquísimos baños romanos descubiertos en Plombières i desaterrados en 1851 sumergidos despues de siglos en el agua mineral, M. Daubrée reconoció que ellos habían sufrido una transformación de lo mas interesante. Se habían formado en combinaciones nuevas, silicatos de la familia de las zeolitas las cavidades de que estos ladrillos estaban acribillados: la *chabasia* en cristales estrechados, agrupados exactamente como los de la naturaleza i con los mismos ángulos; i las *cristianitas* cuyo cristales se penetraban en forma de cruz eran idénticos a los de las rocas volcánicas. Se había además producido el ópalo, trasluciente e incoloro como gotas de rocío. La estructura de los ladrillos contenía pequeños glóbulos fibrosos i radiados, que los caracteres ópticos permitieron reconocer como calcedonia.

Las mismas especies se habían formado hasta en los menores poros de los ladrillos.

Estos minerales de producción contemporánea fueron encontrados mas tarde en las manposterías romanas de Luxeuil i de Bourbonne-les-Bains.

Con la acción del tiempo, el agua termal había obrado químicamente sobre los ladrillos i sobre la cal, enjendrando poco a poco i sin necesidad de una temperatura elevada, nuevos cuerpos. Un trabajo mui lento, pero incesante había bastado.

En razón de la multitud i de la extensión de los trabajos de explotación de las vetas metalíferas en numerosos países, i de la exactitud matemática con que se suministran los datos de sus detalles i composición, estas vetas nos proporcionan datos particulares sobre el papel mineralizador de las antiguas fuentes termales.

Las vetas, que ofrecen el tipo mas frecuente, tienen la forma de



placas cuyo espesor pasa rara vez de algunos metros. En el sentido horizontal, se prolongan a veces en grandes extensiones 15 i mas kilómetros, como algunas galerías de esplotacion lo dan a conocer. Se comprueba aun en la superficie, por las partes cuarzosas, que han resistido mejor a la accion niveladora de las aguas i el viento. En profundidad las vetas se prolongan indefinidamente i los trabajos de esplotacion no han podido alcanzar el límite inferior a pesar de haber minas de 1,000 metros de hondura.

Al primer golpe de vista las vetas metalíferas, contrastan por su composicion mineralógica con las rocas del cerro, cualquiera que sea su categoría. Están formadas de minerales mui distintos i es necesario distinguir en ellas los metales minerales útiles i las materias estériles o gangas. Estas últimas se presentan jeneralmente en proporcion dominante i de su mayor o menor cantidad resultan hechos imprevistos en su esplotacion.

Las sustancias diversas que constituyen las vetas afectan algunas veces con relacion a sus paredes una disposicion simétrica, demostrando que ellas resultan de depósitos sucesivos aplicados los unos sobre los otros en fajas paralelas a las cajas, como pasa en un cristalizador o en el interior de un tubo que se ha incrustado de materias terrosas.

Rara vez las vetas metalíferas están aisladas; unidas por un lazo de paralelismo i por una semejanza de composicion, forman en jeneral sistemas o grupos. Se encuentran sólo en rejiones que han experimentado dislocaciones. Frecuentemente están vecinas a las rocas eruptivas con las que se relacionan visiblemente como si las uniera un lazo de parentesco.

Es por su forma i por la manera del todo independiente que cortan a las rocas que las vetas metalíferas acusan su oríjen. Su formacion es debida a grandes grietas verticales que han dado salida a ciertas sustancias con las que despues se han rellenado. La relacion de las vetas i de las grandes dislocaciones atestiguan suficientemente que es de abajo arriba, es decir, de las rejiones profundas del globo hácia la superficie que las materias metálicas i sus gangas han sido llevadas. De este hecho se habia deducido, primero que la ascension de los minerales en las vetas se habia producido por volatilizacion o al ménos por fusion.

Muchas circunstancias muestran, sin embargo, la inexactitud de esta manera de ver. Las muestras de las colecciones hacen ver por sí solas que sus diversos minerales se han precipitado los unos sobre los otros, sobreponiéndose en un orden del todo diferente a su grado de fusion i de volatizacion.

Es de notar, ademas, que la mayor parte de ellos se encuentran fuera de las vetas i en circunstancias tales que no pueden haberse depositado sin la intervencion del agua.

Senarmont, operando en tubos cerrados bajo presiones i a una temperatura bien superior a la del agua hirviendo, llegó por medio de sustancias las mas comunes a reproducir las especies minerales características de las vetas: el cuarzo, el sulfato de barita, la fluorina, las piritas de fierro i de cobre, la blenda, el sulfuro de antimonio, el rosicler, el fierro espático, el carbonato de zinc; todos estos minerales de laboratorio, al estado cristalizado eran del todo semejantes a sus análogos en la naturaleza.

La formacion contemporánea de la mayor parte de ellos, comprobada en las fuentes termales, vino mas tarde a confirmar i completar esta demostracion.

Las fracturas profundas que se encuentran en tan gran número en la corteza terrestre han pues tenido diferentes destinos en la série de los siglos. Las unas han permanecido vacias i sólo se han rellenado por fragmentos desprendidos de sus paredes.

Otras han suministrado un camino de salida a las rocas eruptivas en el estado pastoso constituyendo *diques* de basaltos i pórfidos. En fin, las de que nos ocupamos en este momento han servido de canales a las emanaciones metalíferas por medio del agua i las llamamos *vetas*.

No ha sido siempre por las vetas que estas exhalaciones han tenido lugar. Frecuentemente han llenado intersticios de formas irregulares i mui variados, constituyendo entónces grandes montones llamados *amas*, ya justa puestos a las rocas eruptivas como si hubieran venido enseguida, ya encerrados en los terrenos estratificados. Cualquiera que sea su forma, estas diversas *amas* estan con frecuencia en relacion con las grietas que han servido de vehículo a las emanaciones, en parte acuosas del interior de la Tierra.

Entre los depósitos metalíferos de esta última categoria, algunos,



mejor aun que las vetas, demuestran la intervencion de las aguas minerales o termale. Los trabertinos de muchas rejiones i las *amas* de peróxido de fierro hidratado, frecuentes en Berry, donde los romanos los han esplotados, en Perigord, en Lorena, en el Franco-Condado, en Alsacia i otros puntos, pertenecen a esta categoría.

La forma globulosa en capas concéntricas o pisolíticas que ellas afectan recuerdan de una manera palpable, los pequeños esferoides de cal carbonatada depositada cada dia en la olla donde saltan i remolinean las fuentes termale de Carlsbad.

A veces se reconoce claramente que las disoluciones de peróxido de fierro han obrado sobre la calcárea que ellas bañaban; porque la han corroido gradualmente. Su accion química se ha ejercido tambien sobre las materias orgánicas, animales i vejetales.

En muchos puntos de Alsacia, el mineral contiene fragmentos menudos i fibrosos, consistiendo en restos leñosos, donde la madera sin perder su textura ha sido completamente reemplazada por el peróxido de fierro i el cuarzo.

Nada es mas claro que la intervencion de las aguas subterráneas en el órigen de muchos *amas* de calamina, donde el *zinc* se encuentra al estado de carbonato i de silicatos hidratados, como por ejemplo en la Vieja Montaña, no léjos de Aix-la-Chapelle. Los trabajos de esplotacion han permitido reconocer i seguir en todos sus detalles los canales de ascension de las fuentes jeneratrices. Las paredes calcáreas por donde ellos surcaban han sido atacadas, i lo mismo que acabamos de decir con respecto al peróxido de fierro, el mineral de zinc se ha sustituido poco a poco al carbonato de cal. Las fuentes que tenian el metal en disolucion salian de fallas; se han absorbido en las capas permeables, corriendo por la superficie de las capas impermeables. Los vestijios de conchas fósiles que encierran a veces los minerales de zinc i de plomo en Wesfalia, por ejemplo, atestiguan igualmente la sustitucion de las combinaciones metálicas a las calcáreas. Las minas de plomo i plata de Laurium, una de las principales riquezas de los Atenienses, i que del año 520 ántes de nuestra era figuraban en esplotacion, han revelado los mismos procedimientos de la naturaleza.

Hechos semejantes se han verificado en muchos otros paises.

Citemos en Francia diversas vetas de calamina, i en los Estados Unidos las vetas de las Montañas Rocallosas. A pesar de estas diferencias locales, todas estas *amas* de calamina presentan analogías notables i del todo independiente de la edad de las capas en las que se ha desparramado. Siempre las capas mineralizadas están en relacion de situacion con la permeabilidad i la naturaleza química de las rocas, exactamente como lo estarian hoi dia, si las aguas metalíferas continuasen aflorando.

Al estado de fosfato de cal o de *fosforita*, el fósforo se encuentra ordinariamente en la corteza terrestre. La agricultura lo estrae para sus necesidades de ciertos mantos del terreno cretáceo i algo del jurásico de muchos paises de la Tierra. En estos diversos depósitos, el fosfato afecta con frecuencia formas de animales, de huesos, por ejemplo, mostrando su origen orgánico. Pero, cuando se presenta en las rocas eruptivas i en las vetas, su aparicion es del todo independiente de la accion de los seres organizados. Lo mismo que los metales, el fósforo contenido en los terrenos sedimentarios, proviene principalmente de depósitos interiores del globo, de donde ha sido llevado igualmente por el vehículo de las fuentes termales. En las importantes vetas de Estremadura, la fosforita está asociada al cuarzo i constituye, en efecto, numerosas vetas verticales, que han sido rellenadas de abajo arriba. Accidentalmente, ha penetrado la sustancia en las capas calcáreas i háse amoldado en los fósiles, mostrando así una nueva prueba de precipitacion húmeda.

A mas del cuarzo cristalizado contienen las vetas a veces partículas de minerales metálicos i presentan así transiciones a los filones metalíferos, propiamente dichos. La fajada estructura de la calcedonia i de la ágata, que abundan en estas vetas i la manera como se relacionan con los depósitos exactamente de la misma naturaleza, incrustados en las capas vecinas, vienen a confirmar su origen ácuco i permiten precisar su edad. Así, en el departamento del Loira i lugares vecinos, estas erupciones de cuarzo han aparecido despues de las erupciones fosfóricas, alrededor de las que forman un cuadro i del que ellas se han trasvasado a las estratas, envolviendo i silicando sus conchas: el espesor de 25 metros que tienen cerca de Saint-Etienne, parece corresponder a un largo lapso de tiempo. Podríamos señalar infinitos filones de cuarzo en todos



los países, algunos de los que, son auríferos, como en la sierra Nevada de California, etc.

En resúmen, todos esos depósitos de cuarzo i de minerales ane-  
xos, cualquiera que sea la diversidad de sus formas, vetas, amas o  
capas, atestiguan con no ménos autenticidad, en las vetas metalí-  
feras, la intervencion i el poder jenerador de las aguas subterrá-  
neas, agotadas desde largo tiempo. Se verá bien pronto que las  
aguas, convenientemente caldeadas, depositan al estado de cuarzo  
cristalizado, la sílice que ellas tienen con frecuencia en disolucion.  
Se esplica, entónces, como este mineral ha llegado a ser en cierto  
modo, el cicatrizador de las fracturas de la corteza terrestre.

Veamos, ahora, como esplica Daubreé el *metamorfismo*, de los  
terrenos de que hemos hablado al principio, i que existen en tan  
dilatados espacios en la corteza terrestre.

Las rocas estratificadas han adquirido estos caractéres en la ve-  
cindad de las rocas eruptivas. En muchas localidades, en el con-  
tacto de los melafiros, la calcárea triásica se ha transformado en  
mármol blanco, en un espesor de mas de 500 metros, i al mismo  
tiempo háse formado piroxena, espinela, turmalina i otros mine-  
rales cristalizados.

Las esquitas arcillosas han experimentado transformaciones mi-  
neralógicas en la proximidad de las erupciones graníticas. Desde  
hace medio siglo, un excelente jeólogo señalaba en Bretaña, la  
presencia de conchas fósiles en medio de las rocas esquitosas, con-  
teniendo al mismo tiempo, como testimonio del calor que habian  
experimentado, grandes cristales de minerales silicatados.

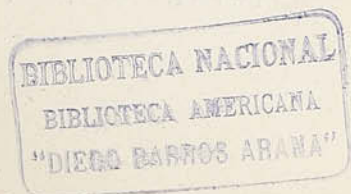
Estas modificaciones de las esquitas se han propagado a la dis-  
tancia de algunas centenas de metros hasta 3 kilómetros de dis-  
tancia. El calor, a que las estratas estaban sujetas, por efecto de  
la inyeccion de las masas eruptivas, es sin duda una de las causas.  
Pero las emanaciones de vapor, que acompañarian la salida del  
granito i cuya accion se percibe en la masa de esta roca, atestiguan  
que el agua ha desempeñado un papel no ménos importante.

Pero, por todas partes hai algo de mas notable aun en los fenó-  
menos metamórficos. Rocas sedimentarias que ocupan países ente-  
ros, muestran modificaciones profundas, sin que sea posible descu-  
brir el menor afloramiento eruptivo; i para citar un ejemplo de los

mas comunes, basta fijarse en las rocas arcillosas transformadas en laminares. Las rocas así llamadas, aunque tengan la misma composicion química que las arcillas, de silicato de alúmina, difieren por su cohesion; no se las puede desleir en el agua, como puede comprobarse en la variedad empleada como pizarra. Los terrenos estratificados mas antiguos fueron los primeros estudiados; lo que ha hecho mirar durante muchos años esta estructura cristalina, como esclusivamente propia de los depósitos sedimentarios, de una edad mas antigua. De ahí, el nombre de terrenos de transicion que se les dió. Despues se ha reconocido que este estado semi-cristalino resultaba de una transformacion posterior a la sementacion.

La opinion de que el estado mineralógico de estos terrenos no es una consecuencia necesaria de su antigüedad, parece tanto mejor fundada cuanto que, en otros paises, las capas pertenecientes tambien a sistemas los mas antiguos, no participan de estos mismos caracteres cristalinos: sus rocas arcillosas son idénticas a las que se presentan en los terrenos recientes. Pero, se observa entónces que, en lugar de estar mui dislocadas, conservan su horizontabilidad original, circunstancias a las cuales deben sin duda su conservacion. Este contraste mineralógico, en terrenos de la misma edad, corresponde pues a una diferencia esencial de colocacion.

Existen paises donde terrenos poco antiguos han experimentado igualmente transformaciones profundas. Los Alpes, rejion clásica para el estudio de la jeología, tanto por las causas dinámicas que han dado nacimiento a esta cadena, como por las profundas e imponentes fallas que exhibe, demuestran con elocuencia su constitucion interna, i suministran a este respecto datos fundamentales. En presencia de las rocas de diversos períodos, que entran en su constitucion, carboníferas, triásicas, jurásicas i terciarias, sorprende la fisonomía especial que presenta cada una de ellas, comparadas a la que observamos en los terrenos del interior de la Francia i de otros paises, donde ellas han quedado horizontales. Una influencia jeneral ha obrado, pues, sobre una parte de la vasta rejion de los Alpes; ella ha afectado las rocas de todas las épocas, aun las de la época terciaria inferior, es decir, una série de gruesas capas de muchos miles de metros i esto a pesar de que las rocas eruptivas son mui raras.





A los cambios mineralógicos que acabamos de diseñar, está asociada una modificación de estructura, que se relaciona con la misma causa. Designadas con el nombre de esquitas son bien conocidas en la pizarra. Estas rocas tienen la propiedad característica de desprenderse en placas delgadas, es decir, de clivarse en ciertas direcciones.

Observaciones hechas en los países mas diversos han demostrado el hecho importante de que, los planos de clivaje son bien distintos de los planos de estratificación. En efecto, en lugar de ser paralelos a las capas, son frecuentemente oblicuos, como pasa en las pizarras de Fumay; i, lo que es mas concluyente aun, mientras que los planos de estratificación se han plegado i presentan inclinaciones varias, el plan de clivaje persiste con regularidad, apesar de las inflexiones mas pronunciadas quedando siempre paralelos entre sí. Esta independencia demuestra que los planos de clivaje se han producido, no sólo despues que los terrenos donde se manifiestan se han depositado, pero aun despues que ellos habian perdido su horizontabilidad primitiva. La disposicion esquitosa, mui frecuente en las rocas fosilíferas las mas antiguas, persiste a veces en los terrenos mas recientes, cuando han experimentado dislocaciones enérgicas. En muchas de las localidades de los Alpes, la pizarra es explotada en el terreno terciario.

Un carácter importante de las rocas esquitosas consiste en las deformaciones considerables de los fósiles que se encuentran en ellas, como se observa en los crustáceos fósiles, llamados trilobitas, de las pizarras de Angers. Ademas, i con no ménos frecuencia, son restos de moluscos, designados bajo el nombre de belemnitas, los que aparecen tronchados i cuyos segmentos están mas o ménos separados, como se ha observado en los Alpes i particularmente en el macizo del Monte Blanco.

Despues de reconocer que la esquitosidad es independientemente de la estratificación, la causa de una disposicion jeométrica tan notable i tan jeneral, ha llegado a ser el objeto de diversas hipótesis; pero sólo el estudio ha venido a demostrar que la produccion del clivaje en los terrenos estratificados, está en relacion, por una parte con las acciones que han deformado los fósiles en las mismas capas; i, por otra parte, con los ejes del solevantamiento i las gran-

des líneas de dislocacion. Segun todas las probabilidades este fenómeno debe ser atribuido a acciones mecánicas.

Experiencias mui sencillas han confirmado la hipótesis. La arcilla sujeta a una compresion se lamina tomando una estructura hojosa; pero es necesario que ella posea un grado particular de plasticidad: mui seca, se quiebra; mui húmeda, se lamina sin que las hojas puedan aislarse. Daubrée obtuvo resultados mas sencillos aun obligando a la arcilla a pasar bajo la forma de un chorro, con el auxilio de la prensa hidráulica. En este caso, se producen hojas mui limpias i esto en bandas de muchos metros en el sentido mismo de la presion i del movimiento. Todas estas hojas artificiales se asemejan completamente por su aspecto i su fractura a las rocas esquitosas naturales. En estas diversas corrientes de la masa plástica, las partículas vecinas no marchan uniformemente; las diferencias de velocidades, que ellas adquieren, las hacen resbalar las unas sobre las otras i la estructura esquitosa, consecuencia directa de este resbalamiento, está, como se concibe necesariamente, ordenada con relacion a la direccion del derrame. La deformacion de los fósiles i el estiramiento de las belemnitas, han sido tambien reproducidas i esplicadas experimentalmente, sea por los efectos de una corriente de arcilla, sea por laminacion.

Vamos a ver ahora cómo los hechos fundamentales del metamorfismo se esplican por la accion necesaria de las aguas subterráneas.

Las modificaciones mineralógicas, propias a los fenómenos, han tenido lugar incontestablemente a una temperatura mas elevada que la que ahora reina en la superficie del globo. Se puede deducir esto sólo de la analogía de estos terrenos con las rocas eruptivas i sobre todo, de la presencia de numerosos silicatos anhidros, que forman uno de sus caractéres mas notables.

El calor propio del suelo decrece de las profundidades hácia la superficie; los sedimentos depositados en el océano, a la temperatura relativamente baja que ahí reina, han debido adquirir, cuando han sido cubiertos en seguida por otras capas, una temperatura mas elevada, en razon de su mayor distancia de la superficie de irradiacion. La superposicion de terraplenes poderosos, como lo son ciertos terrenos estratificados, ha podido con frecuencia bastar



para determinar, posteriormente a su depósito, el recalentamiento notable de las masas inferiores; sobre todo, en las épocas donde el acrecentamiento del calor, segun la vertical, obedecia a una lei mucho mas rápida que en el dia. Así, la propagacion regular del calor del globo ha podido obrar sobre estensos terrenos.

Ademas, hai otra fuente de calor, a la vez mas inmediata i mas enérgica: es el calor enjendrado por las acciones mecánicas, que han estampado sus rastros, en una multitud de partes de la corteza terrestre. En efecto, en lugar de haber conservado su horizontabilidad de la época de su depósito, estas capas se han enderezado, con frecuencia sumerjídose i contorneado de diversas maneras; estas dislocaciones se observan en espesores enormes, que llegan a muchos miles de metros. A cada paso en los Alpes, por ejemplo, en presencia de lo escarpado del terreno, donde la roca se vé desnuda, el ojo ménos observador percibe, por lo atrevido de las inflexiones, la magnitud de las fuerzas que han producido tales efectos. Todo el trabajo puesto en juego en estos movimientos colosales no ha podido emplearse sólo en acciones puramente mecánicas. Ha sido, en parte, transformado en calor, este mismo calor cuyos efectos acabamos de mencionar.

La esperiencia ha venido a confirmar esta última induccion. Por medios mecánicos se ha podido laminar la arcilla i la roca se ha calentado notablemente, despues de un tiempo mui corto i sin que las presiones a las que estaban sujetas fuesen considerables. En condiciones iguales el caldeo es tanto mas notable cuanto la arcilla sea mas dura i mas resistente. Estamos, pues, autorizados para pensar que en la naturaleza, cuando las rocas mas coherentes i ménos plásticas que la arcilla ordinaria, han estado sujetas a las acciones mecánicas, bastante poderosas para determinar un movimiento interior, aunque sea débil su amplitud, se han encontrado aun en condiciones aun mas favorables para calentarse. Ha bastado, pues, que las masas arcillosas se hayan laminado, por efecto de las dislocaciones de la corteza terrestre, para que hayan sido esquitosas i para que su temperatura se haya elevado de una manera notable.

Pero el calor sólo por intenso que se le suponga, no puede explicar los efectos mas característicos del metamorfismo, lo mismo que

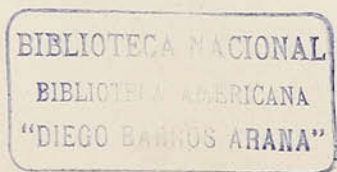
la uniformidad que se nota en extensiones considerables; porque las rocas tienen una conductibilidad estremadamente débil. Además, a la inversa de lo que haria una simple accion calorífica, no es siempre en las partes en contacto con las rocas eruptivas donde los efectos han sido mas enérgicos. El agua, que todas las rocas encierran, sea en los poros, sea en combinacion, ha intervenido necesariamente como auxiliar del calor. La naturaleza de los minerales producidos, por ejemplo, los silicatos hidratados, como la clorita, no ménos que la uniformidad de su disposicion en vastos macizos, denotan la intervencion de esta agua interior. Así, en este órden de fenómenos jeológicos, donde se ha podido creer que el calor acompañado de algunas acciones químicas, habia sido el sólo agente, se reconoce que el agua subterránea ha desempeñado tambien su papel.

Era necesario justificar por la esperiencia estas causas fundamentales del metamorfismo. Al efecto, Daubrée puso en un grueso tubo de vidrio la tercera parte de su peso de agua i lo encerró en un fuerte tubo de fierro soldado a la fragua. El todo lo puso en el plan de un horno de gas, rodeado de arena, que estaba al calor sombrío i por algunas semanas.

El agua obró enérgicamente sobre el vidrio, que bien pronto sufrió una trasformacion completa, tanto en su aspecto como en su composicion. Se le encontró cambiado en una masa blanca, del todo opaca, parecida a la kaolina, con remolinos ampollados i algunas veces tambien laminada; con el material de la sustancia se habian desarrollado innumerables cristales, pequeños, incoloros, de una pureza perfecta, como el cristal de roca a los que son idénticos. Estos cristales de cuarzo artificial aparecen ya aislados, ya agrupados en jeodas, siendo imposible distinguirlos de los de la naturaleza.

Otro producto de las mismas esperiencias no merece ménos nuestra atencion; la piroxena que aparece en pequeños cristales verdes, brillantes i transparentes, verdaderas imitaciones de los de los Alpes. Por la primera vez se pudo ver un silicato anhidro producido por la accion del agua.

Recientemente, con el auxilio de procedimientos análogos, ha sido imitado el feldespato por los señores Friedel i Sarrasin.





Mencionemos aun, otra muestra del poder que adquiere el agua en tales condiciones: la madera de pino fué convertida en una sustancia de un negro mui brillante i de una dureza como la de la antracita cuyo aspecto posee, quedando sólo el carbon, asociado a pequeñas cantidades de materias volátiles. Su granulacion en pequeños glóbulos prueba que, en medio del agua experimentó una especie de fusion.

Las reacciones, que ocasionan estos productos, ofrecen tanto mas interes, cuanto que ellas han sido obtenidas con una pequeña cantidad de agua, apenas igual al tercio del peso del vidrio metamorfoseado. Ademas, las nuevas combinaciones han cristalizado a una temperatura mui inferior a su punto de fusion. Se tiene así, la prueba de que el agua adquiere cuando está fuertemente sobrecalentada, una energía inesperada; destruye combinaciones refutadas como estables en presencia de las que pasaban por inertes; ademas, forma otras, sobre todo los silicatos anhidros.

La imitacion de estos silicatos de la corteza terrestre escapa a nuestra observacion, porque exigen una temperatura mui superior al del agua hirviendo. Pero ella debe efectuarse en las profundidades de las rocas, donde no falta ni el agua aprisionada, ni temperaturas i presiones incomparablemente mas elevadas que las de nuestras mas atrevidas experiencias.

Así, estas experiencias nos muestra el oríjen del cuarzo en la corteza terrestre, que aparece en todas partes i en terrenos del todo diferentes.

Hai que fijarse en que la naturaleza posee otra gran superioridad sobre el hombre: tiene el privilegio de disponer de estensos lapsos de tiempo; la importancia de esta ventaja, bajo el punto de vista que nos ocupa, resalta claramente de los hechos ya citados, producidos en las mamposterías romanas. Ademas, las reacciones que pueden desarrollarse con lentitud, no requieren una temperatura tan elevada como aquellas cuya duracion es mucho mas corta.

El estudio de las aguas en sus trayectos i en sus efectos, en las épocas antiguas, viene pues a completar la historia i a ensanchar considerablemente el cuadro de las obras subterráneas.

Nada, prueba por lo demas, que los fenómenos de esta naturaleza no persistan en nuestros dias. Es de creer que al presente ac-

ciones enérgicas se producen aun, pero en rejiones interiores inaccesibles a nosotros. El agua sobrecalentada, cuya existencia acusan las aguas termales i las exhalaciones volcánicas, enjendran, segun toda apariencia, lenta i silenciosamente en el interior del globo, efectos considerables i permanentes i dan nacimiento, como otras veces, a variados minerales.

Lo mismo que en nuestro organismo, todas las partes del cuerpo deben su desarrollo a la nutricion de la sangre en circulacion; tambien en la corteza del globo terrestre, el agua, por su incesante circulacion subterránea i por un trabajo sobre todo químico, desempeña una especie de accion vital, que se ha perpetuado hasta nuestros dias. Se podria aplicar a estos efectos mineralójicos i jeolójicos, tan dignos de nuestra curiosidad i derivados de una misma causa, el lema escojido por Leibnitz: «*La variedad en la unidad.*»

#### EDAD RELATIVA I MODO DE ERUPCION DE LAS ROCAS ÍGNEAS

Si se considera una masa ígnea en la superficie del suelo, será necesariamente posterior a las rocas sedimentarias sobre las que reposa, al ménos que la comarca no haya sido a tal punto trastornada, que se esté en el derecho de suponer una inversion completa de todo el sistema, que haya trastornado el órden de superposicion; pero desde el momento que encontremos una masa ígnea superpuesta a ciertas capas de sedimento, tendremos que mirarla como mui posterior. Si la roca ígnea está intercalada entre muchas capas, será posterior a las capas que ella atraviesa; pero si un filon se detiene en el medio del sistema estratificado, no se podrá concluir que él es anterior a todas las que no atraviesa; lo mismo todas las rocas ígneas intercaladas en un terreno, son ciertamente posteriores a las capas sobre las que reposan; pero, pueden serlo tambien con respecto a las que lo cubren.

Las rocas ígneas mas antiguas son los *granitos*, que, mui abundantes en las primeras épocas de la formacion del globo, se han estendido hasta el terreno cretáceo inferior; aunque su emision fué considerable en los primeros períodos jeolójicos, disminuyó rápidamente a medida que los terrenos de sedimento se hicieron mas potentes.

Vienen en seguida los *pórpidos cuarzíferos*, que principian apa-



recer con los terrenos de transicion, sobre todo en el siluriano i existen hasta la base del terreno jurásico.

Las *serpentin*as parecen haberse producido al fin de los terrenos de transicion, estendiéndose hasta el terreno terciario superior.

Las rocas *trapeanas*, abundan sobre todo en la época de la greda roja; aparecieron en la base del terreno hullero i se han prolongado hasta los terrenos inferiores del terciario.

Los *melafiros* han principiado en la base de la greda roja i se han propagado hasta los límites de los terrenos terciarios superiores.

Las *traquitas* i los *basaltos* aparecieron en la parte superior del terreno cretáceo, i su emision abundante, sobre todo al fin de los terrenos terciarios, se continúa aun en uno que otro punto.

En fin, las *lavas* i otros productos de los volcanes, aparecen esencialmente en la época actual.

Los granitos i los pórfidos, llegados a la superficie al estado pastoso, no han corrido i no están acompañados de escorias; los filones que constituyen, son poco estensos, i en jeneral están terminados en punta; los pórfidos cuarzíferos forman, sin embargo, algunos filones bastante estensos, aunque bastante delgados jeneralmente i han salido, por consiguiente, mas fluidos que los granitos. Los pórfidos constituyen montañas i cúpulas; los granitos a veces afectan esta disposicion; pero de ordinario se presentan bajo la forma de cadenas largas i estendidas, como en la cordillera de la costa en Chile, en los Alpes i los Pirineos; el fenómeno que los ha producido es entónce mas jeneral i se hace sentir en una mayor escala. En fin, existe una gran diferencia en el modo de emision de los pórfidos i de los granitos; estas últimas rocas jamas están acompañadas de conglomerados, lo que sucede con frecuencia con los primeros.

Los basaltos i las rocas *trapeanas* han llegado a la superficie por simples rasgaduras i se han estendido en capas delgadas, sobre la superficie del suelo. Con frecuencia los basaltos se han levantado al estado pastoso para formar cúpulas. Estas rocas están habitualmente acompañadas de escorias en cantidad variable.

Las *traquitas* se presentan, algunas veces, bajo la forma de gruesos i estendidos mantos, constituyendo grande hiladas casi hori-

zontales; Turquiri, Choquelimpie, en la primera cordillera de los Andes, ofrecen ejemplos notables. En estos casos, esta roca ha llegado evidentemente fluida a la superficie; en otras circunstancias ella se ha solevado al estado pastoso i ha formado montañas redondeadas como el Puy-de-Dôme: está siempre acompañada de masas considerables de conglomerados i de escorias, casi siempre con piedra pómez.

### 3.º—Calor central.—Solevantamientos

Las variaciones de la temperatura del aire son considerables. En Paris, bajo un clima templado, el termómetro sube hasta 40 grados i desciende hasta 30 grados; lo que corresponde a una variacion de 70 grados en las temperaturas extremas. Cerca de los polos es mayor i alcanza esta variacion a 120 grados, miéntras que en el Ecuador es mui poca.

Por poco que se baje hácia el interior de la tierra, estas variaciones se atenúan rápidamente; lo que proviene de la mala conductibilidad de las rocas i jeneralmente no son sensibles a mas de 10 metros de profundidad, llegándose mas o ménos a esta hondura a tener estacionario el termómetro. Existe, pues, debajo del suelo una capa cuya temperatura es invariable i, en lugar de permanecer estacionaria la temperatura, aumenta con la profundidad, aunque no de una manera igual en todos los puntos de la corteza terrestre; corresponde, en término medio, a un grado por cada 30 metros de profundidad. Si esta lei fuese constante, tendríamos a 66 kilómetros la temperatura de 2,000 grados, capaz por consiguiente, de fundir el platino i casi todas las sustancias conocidas, i nuestro globo seria así una masa fundida, envuelta en una corteza poco gruesa relativamente a su diámetro.

Pero parece probable que, a medida que nos aproximamos al centro de la Tierra, la rapidez del acrecentamiento de temperatura debe ir disminuyendo notablemente. Se sabe, en efecto, que todo cuerpo pierde su calor por irradiacion en el espacio; i tal es el caso del globo terrestre, que ofrece en la vecindad de su superficie libre una variacion mucho mas rápida que en el interior de su masa. Las esperiencias ejecutadas por Bischof, sobre una esfera de



basalto fundida, en la que midió la temperatura a diversas distancias del centro, vienen en apoyo de esta manera de ver.

Debemos aceptar que todavía la mayor parte del interior de la Tierra está al estado de fusion. No podríamos explicar de otra manera el acrecentamiento del calor con la profundidad, las fuentes termales, los volcanes i la mayor parte de los movimientos del suelo.

Pero, podemos ir mas léjos i decir que la Tierra ha sido primitivamente toda ella fluida formando un cuerpo como el Sol.

La unidad física i química de la naturaleza ya es un hecho probado i todos los cuerpos del universo entero se dividen, en la astronomía, en cinco categorías: nebulosas, soles, planetas, lunas i meteoritas. La Tierra se encuentra al estado de planeta, es decir, de sol apagado, como desde largo tiempo lo pensaba Descartes; la Luna un planeta enfriado i las meteoritas, son los restos de los planetas que han estallado. El Sol está todavía en su segunda faz, porque tiene el volúmen mas considerable, por cuanto reúne las  $\frac{6}{7} \frac{9}{10}$  de la masa total contenida en la nebulosa primitiva.

Sobre la primera capa solidificada de la Tierra, i suficientemente enfriada para que las aguas pudieran condensarse, se han formado sucesivamente los depósitos sedimentarios, i mientras tanto, por efecto de los enfriamientos progresivos del globo, nuevas capas de materias fundidas se solidificaban debajo de la corteza primitiva. Todo enfriamiento está acompañado de una contraccion; i esta contraccion siendo mas poderosa en la corteza exterior, que se enfriaba mas lijero, debia rasgarla de tiempo en tiempo i dar paso a la materia fluida interior. Estas rasgaduras han estado acompañadas de solevantamientos de una parte del suelo i de bajamientos de otras, que han traído por consecuencia perturbaciones en el régimen de las aguas i, por consiguiente, la destruccion parcial o total de las especies organizadas, entónces existentes. Estos solevantamientos han constituido el límite de las diversas formaciones jeológicas.

Descuidando las influencias locales, debidas a la mayor o menor resistencia de los terrenos solevantados, el conjunto de las rasgaduras producidas, en la misma época jeológica, forma una série de arcos de círculos máximos que pasan por los mismos polos. En realidad, como estas rasgaduras están bastante aproximadas, se las

puede mirar como una série de líneas rectas paralelas, cuya direccion representa la de las cadenas de montañas producidas por el solevantamiento, i la de los terrenos sedimentarios que a su vez fueron levantados. El estudio de estos solevantamientos ofrece el mayor interes al jeólogo, i le permite levantar la carta jeográfica i física del globo, en las diversas épocas jeológicas. Como no podemos entrar aquí en estos detalles nos limitaremos a indicar los cuatro solevantamientos mencionados por Pissis, que han diseñado el suelo de Chile.

### *Sistema colombiano*

Direccion N.,  $26\frac{1}{2}^{\circ}$  hácia el E.

Este solevantamiento es el mas antiguo de Chile, porque se refiere principalmente a la inyeccion de las rocas graníticas. Hai en Chile tres líneas: 1.° desde Nahuelbuta a Curicó; 2.° desde Lumaco hasta el Tinguiririca; 3.° el eje de la cordillera de los Andes, desde el volcan Chillan al Tupungato.

Hai tambien erupciones aisladas de menor importancia en Santiago, desde la Palmilla a Marga-Marga, pasando por Zapata i Tiltil (Tapigüe).

Hai tambien ramales de los Andes en varios puntos.

### *Sistema chileno*

Direccion N.,  $8\frac{3}{4}^{\circ}$  al E.

Este solevantamiento se debe principalmente a las sienitas que han venido despues de los granitos.

Pissis hace notar dos círculos principales:

1.° Desde el volcan Chillan al estrecho de Magallanes, i en el norte de Chile, desde Cerro Negro a Limon Verde.

2.° Desde el Morro de Arica hácia el sur, i sigue por la costa de Chile, con notable regularidad, hasta el Estrecho de Magallanes, por las islas de la Patagonia.

El espacio comprendido entre estos dos círculos, abraza casi toda la parte occidental de Chile, pudiéndose notar que la cadena marítima, el valle longitudinal i las principales crestas de los Andes le son paralelas: sobre estas líneas, trazadas por las sienitas, se hallan situadas tambien las principales minas de Chile.



La sienita ha levantado principalmente en Chile la arenisca roja, que no es sólo el oríjen de los Andes chilenos, sino tambien el de la parte de la cordillera de la costa, así como de los principales rasgos que caracterizan el relieve de Chile.

### *Sistema peruano*

Direccion N. 30° oeste.

Este solevantamiento se debe principalmente al pórfido cuarzífero.

Esta importante roca, como panizo de plata, se la ve en la parte superior del valle del Maipo, i la direccion de las estratas del mineral de San Pedro Nolasco i de San Lorenzo es, en efecto, N. 30 O.

Tambien lo son las de Chañarcillo i hai allí un poderoso dique de esta roca, desde el antiguo camino de Copiapó hácia la base del Morro de Chañarcillo, que sigue levantando en Chile todo el terreno jurásico i la parte inferior del cretáceo.

En el Perú, i sobre todo en Bolivia, la erupcion de los pórfidos cuarzíferos ha sido mucho mayor i ha dado oríjen a los grandes minerales de plata i aun de este metal con estaño.

En Bolivia se pueden distinguir dos círculos: el de Potosí i Colquechaca mas al oriente, que pasa por las mas altas cumbres, i el segundo, el de Oruro, Huanchaca, Sicasica i el pié del Illimani, que pasa cerca de la falda occidental de la cordillera real u oriental de la altiplanicie boliviana.

En Chile, como se ve, el pórfido cuarzífero ha solevantado la formacion calcárea; i, en Caracoles los beneficios de las minas *Descubridora*, *Deseada*, *Cautiva* i *Merceditas*, etc., se deben a un chorro de pórfido cuarzífero. En Bolivia ha levantado la formaciones siluriana i devoniana.

### *Sistema himalayo*

Direccion aproximada de Oeste a Este. Este sistema corresponde a la inyeccion de las hiperstenitas. Varias de las cordilleras transversales de Chile siguen esta direccion, como la de Chacabuco, con su gran pico de la Campana de Quillota.

---

Las *traquitas* se han solevantado en Chile al fin del período cretáceo i han seguido la direccion del sistema chileno; se las encuentran a intervalos en la cordillera de los Andes, dominando sobre todo desde el volcan Llullaullauco al norte, en la vertiente oriental del primer ramal de la cordillera occidental de los Andes.

Estas *traquitas* forman los minerales de Cachinal, Lípez, Choquelimpie, Turuquirí, Carranzas, Cacachara, Puno, etc.













