

NOCIONES JENERALES
DE JEOLOJÍA

PROFESADAS EN LA
ESCUELA PRACTICA DE MINERIA

DE SANTIAGO

POR

RAMON CORREAS RIVERA



SANTIAGO DE CHILE
IMPRENTA NACIONAL, MONEDA 112
—
1891

A.E.33T.3... (Nº/3-p.3.)

NOCIONES JENERALES DE JEOLOJÍA

PROFESADAS EN LA
ESCUELA PRACTICA DE MINERIA

DE SANTIAGO

POR

RAMON CORREAS RIVERA



SANTIAGO DE CHILE
IMPRENTA NACIONAL, MONEDA 112

1891

ADVERTENCIA

Estas nociones generales de jeología constituyen la Introducción al Curso de Esplotación de Minas, que profesamos en la Escuela Práctica de Minería de Santiago.

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

R. C. R.

NOCIONES GENERALES DE JEOLOJIA

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 media de la Tierra es como cinco veces mayor que la del agua, es decir, cerca del doble de la densidad media 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 más 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 evaporación 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 formación 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 composición química constante sobre una cierta extensión: 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 composición, 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 muy 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 homojénea.

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 arjentinas; 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 dirección, dándole un aspecto laminado a la roca, toma entonces 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 entonces 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 entonces una roca muy hermosa conocida con el nombre de *sienita*.

Rocas porfíricas

Los pórfitos 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 ortoclásia 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 pórfitos traquílicos, analógos a los pórfitos 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 traquílicos 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 piedraponce 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 *klingstein*, roca a la vez tabular i esquitosa, de fractura esquitosa, notable por su gran sonoridad.

Rocas amfibólicas

Las *dioritas* son rocas compuestas de amfíbola verde o negra, i de feldespato albita en cristales, jeneralmente partidos, presentando entonces un ángulo obtuso entrante. Cuando estos cristales están diseminados en una masa verdosa, la roca es un pórfito 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 serpentinas

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* sola 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 lidia.

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 sacroídeas* o mármoles estatuarios cristalinos, generalmente 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 caractéres bastante definidos i constantes, para justificar clasificaciones particulares. Algunas veces, cierta manera de formacion, dá a las rocas caractéres indelebles, cualquiera que sea, por lo demás, 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, pórfito, 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 entonces 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 ferrujinoso, 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 cristalinos i los terrenos sedimentarios.

Las *margas* i las *arcillas*, como producto de depósitos barrosos, 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 pudingas, se han formado por medio del transporte mecanico; 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 tenía en disolucion. Las rocas de esta primera categoría han recibido el nombre jenerico de rocas *sedimentarias, neptunianas o estratificadas*; envuelven jeneralmente restos orgánicos, vegetales 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 mineralojicos 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 países, 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 jeolojía tres series 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.

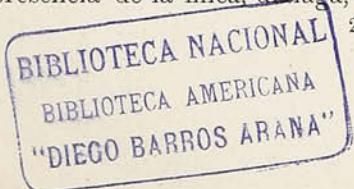
1.^o—Terrenos sedimentarios

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

una de estas capas está ella misma jeneralmente dividida en hiladas, 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 series 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 menos 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, caractéres diferentes para una misma roca en diversas posiciones jeolójicas, que son fáciles de percibir, cuando se considera el conjunto del terreno, haciendo abstraccion de todas las excepciones de detalle. Así las calcáreas inferiores, compactas esquitosas o sacaroídeas, frecuentemente caracterizadas por la presencia de la mica, diálica, 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 caractéres 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 jeolójicas, 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 superposición i la continuidad de las capas son los sólos caractéres que se pueden mirar como infalibles para reconocer las formaciones sedimentarias. Los caractéres mineralógicos i paleontológicos 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 caractéres distintivos de una formacion independiente son:

1.^o El órden de colocacion i la estratificación: 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 caractéres 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 caractéres orgánicos, sea que resulten de la presencia de ciertos fósiles, que se encuentran especialmente en una formacion 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 estratificacion sea concordante, si ellas no se siguen inmediatamente en la escala jeognóstica. En este caso, los caractéres 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 caractéres mineralójicos i jeolójicos fundirse i modificarse gradualmente, de tal suerte que no hai un cambio completo sino despues de hacer abstraccion de una cantidad de capas mas o ménos considerables.

Las formaciones se subdividen en otras que pueden diferenciarse entre sí por una composicion 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 denominacion de *terreno* tiene una acepcion mas vasta que la de formacion. 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; miéntras que las formaciones que subdividen estos intervalos estarán separadas entre sí por revoluciones que, sin modificar grandemente la configuracion de los mares i de las masas continentales, habrán, sin embargo, modificado las circunstancias de estratificacion, como la jeneracion de las rocas, e introducido cambios notables en la serie orgánica.

Si se trata de establecer en la serie 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 vegetales, 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 mineralójico como paleontolójico.

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

La serie 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 facil de esplicar, 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 vegetales, 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 serie de los *terrenos secundarios* abraza todos los depósitos comprendidos entre el límite superior del terreno hullero i el límite superior del terreno cretáceo; esta serie 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 *belemnites*, las *grifeas*, etc., comienzan i concluyen con este período, durante el cual se vé desarrollar los animales vertebrados.

La serie 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 disminución gradual de la influencia de los agentes químicos. Las rocas son menos compactas, las capas jeneralmente han conservado su horizontalidad, i los restos orgánicos son mas numerosos i mas variados que en la serie 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 días, 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 media 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*.

Probablementa a esta época pertenece el terreno carbonífero de Chile, que se estiende desde la bahía 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 hacia 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 marinias. En Lota hai dos mantos esplotables, i en las minas de Curanilahue hai tres, poco inclinados i de una potencia media como de un metro. La formacion chilena se apoya directamente en la micasquita, 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 hoy a parisien. La escala media 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 plastica que encierra con frecuencia capas de lignita.

TERRENOS SECUNDARIOS

Los terrenos secundarios comprenden, considerandolos de arriba abajo: el terreno cretaceo, el terreno jurasico, el terreno del trias i el permeano.

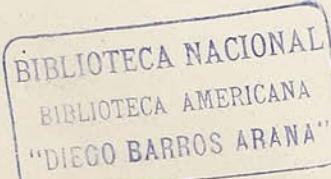
Terreno cretaceo

El terreno cretaceo està 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 cretaceo, de gredas verdes, arcillas i gredas, i arenas ferrujinosa.

Terreno jurasico

El cretaceo inferior i el jurasico, 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 linea de vertientes. La segunda, sigue la falda oriental de la cordillera de la costa i varias de sus secciones se extienden por el valle lonjitudinal.

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; dà esta formacion una vuelta hacia el suelo arjentino pasando por el cerro de la Tolosa i los contrafuertes del Aconcagua, para caer en seguida, del lado de Chile, hacia el Huasco por la cordillera de Peralta. Las estratas, que forman este ramal, tienen una inclinacion bastante considerable hacia 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 hacia 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 Carmen, 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, continua presentándose asi, de trecho en trecho, en las cordilleras de Atacama, como en la quebrada de la Encantada, al pie 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 hacia 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 a 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 media 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 Chañarcillo.

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 hoy 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 irrigadas, que está caracterizado por la abundancia de depósitos de yeso i de sal; la formacion de muschelkalk, calcárea ordinariamente compacta, gris, frecuentemente fétida, magnesiana i mui fosilífera; i en fin, la formacion de gredas abigarradas.

Esta formacion ocupa poca estension en Chile 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 vestigio 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 geográfica 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 $\frac{1}{15}$ 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 $\frac{1}{8}$ 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

producción 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 construcción 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 formación.

Terreno devoniano

El *terreno de transición 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 antracítoso, porque en Europa encierra antracita con alguna frecuencia.

Las rocas que constituyen esta formación en Chile son algunos conglomerados, areniscas, esquitas antracítosas, 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 formación antracítosa; 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, contienen lo, ademas, algunas hojillas de mica, i algunos vestigios de antracita, que es la que les dá su color mas o ménos negro.

Las rocas de formación antracítosa no presentan siempre los caractéres que acabamos de indicar, pues a medida que se estienden hacia el norte, se las vé mudar gradualmente de aspecto i de com-

posicion, i transformarse en petrosílex, pórvidos, jaspes i esquitas siliciosas; así es como suelen presentarse en toda la parte situada al norte de la provincia de Talca. Los pórvidos 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 extremidad 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 pie de la cordillera de los Andes, pasan despues al oeste del valle longitudinal; como en Pocilas i Talca, i toma hacia el norte, mas i mas desarollo. 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 cuarziferas.

El carácter jeneral del sistema siluriano es su aspecto esquitoso, 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 esquitosas; en su pie 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 esquitosas 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 pórvidos cuarziferos 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 estano, 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 Arjentina, 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 amfíbola, 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, muy raro en las traquitas i falta completamente en las lavas modernas. Como ejemplo de afinidades i antipatias mineralójicas que no se pueden atribuir sino a la naturaleza misma de los minerales, citaremos la afinidad del fierro oxidulado 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 amfíbola 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 resumen, 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 si, 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 intimamente 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 solevantado al traves de una serie mas o menos 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 pie de la cadena; pero, entonces, hai gran probabilidad que su erupcion no sea contemporánea al solevantamiento i que no haya tenido lugar sino a consecuencia de movimientos posteriores. En uno i en otro caso, la dirección de estas

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

Si el solevantamiento en lugar de haber tenido lugar segun la dirección de una línea recta, no se ha producido mas que en un punto de la corteza, los depósitos sedimentarios superpuestos habrán sido solevados hacia ese punto central, en el cual convergen; 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 mineralójico, 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 enérjicas 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 esplicar, 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 grauwackas en gneis. Pero no es lo mismo cuando nuevos principios se han introducido: así las calcáreas con frecuencia se han cambiado en dolomias; 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 tenian 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. Daubréé 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 experiencias sistemadas, colocándose en las circunstancias que parecen haber precedido a su formacion han conseguido reproducirlos con sus formas cristalinas i todos sus caractéres 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 vegetales 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 sustitución 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 tenía disueltas.

Cambios debidos del mismo modo a una influencia ácida 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 estratificación de la creta en las canteras de Meudon i en una mas vasta escala en las escarpadas riberas de la Normandía. Este sílex se ha producido después que las capas se habían 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 limón 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 latón, cuya superficie está erizada de puntas cristalinas. Están formadas de pirita o de bisulphuro de fierro i abundan en la creta, en la arcilla plástica i en las rocas carbonatadas.

Las sustancias así concretadas 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 atracción, ha sido contrariada por la desigual resistencia de la masa de la que debía aislarla; 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 muy delgadas, ha depositado el óxido de manganeso.

Los mármoles vetados, tan comunes en ciertas localidades, muestran con mucha evidencia otra manera de acción 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 composición química. Grietas cruzadas en todo sentido, hanse 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 días en nuestros laboratorios. La estructura vetada es la mas frecuente en las calcáreas de las regiones dislocadas; los Alpes, en escarpes de una lonjitud 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 composición 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 solidificación. 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 disposición, 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 generalmente un depósito gradual de naturaleza evidentemente ácida. 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 fabricación 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 trasformacion de lo mas interesante. Se habían formado en combinaciones nuevas, silicatos de la familia de las zeolitas las cavidades de que estos ladrillos estaban acerillados: la *chabasia* en cristales estrizados, 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 ademas producido el ópalo, transluciente e incoloro como gotas de rocío. La estructura de los ladrillos contenía pequeños glóbulos fibrosos i radiados, que los caractéres 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 Bourgogne-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 muy 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 metaliferas, contrastan por su composicion mineralójica 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 llenado. 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 hacia 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 fusión i de volatización.

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 intervención 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 espáctico, 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 demostración.

Las fracturas profundas que se encuentran en tan gran número en la corteza terrestre han pues tenido diferentes destinos en la serie de los siglos. Las unas han permanecido vacias i sólo se han llenado 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 muy variados, constituyendo entonces 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 están con frecuencia en relación 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 categoría, algunos,

mejor aun que las vetas, demuestran la intervencion de las aguas minerales o termales. Los trabertino 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, perteneen 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 termales 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 países.

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 relación de situación con la permeabilidad i la naturaleza química de las rocas, exactamente como lo estarian hoy 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 extrae para sus necesidades de ciertos mantos del terreno cretáceo i algo del jurásico de muchos países 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 aparición es del todo independiente de la acción 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 precipitación 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 ácuo i permiten precisar su edad. Así, en el departamento del Loira i lugares vecinos, estas erupciones de cuarzo han aparecido después de las erupciones fosfóricas, alrededor de las que forman un cuadro i del que ellas se han trasvasado a las estratas, envolviendo i silicatando 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 resumen, todos esos depósitos de cuarzo i de minerales anexos, cualquiera que sea la diversidad de sus formas, vetas, amas o capas, atestiguan con no menos autenticidad, en las vetas metálicas, la intervención i el poder jenerador de las aguas subterráneas, 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 disolución. Se explica, entonces, como este mineral ha llegado a ser en cierto modo, el cicatrizador de las fracturas de la corteza terrestre.

Veamos, ahora, como explica 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 caracteres en la vecindad de las rocas eruptivas. En muchas localidades, en el contacto de los melafíros, 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 minerales cristalizados.

Las esquitas arcillosas han experimentado transformaciones mineralógicas en la proximidad de las erupciones graníticas. Desde hace medio siglo, un excelente geólogo señalaba en Bretaña, la presencia de conchas fósiles en medio de las rocas esquitosas, conteniendo al mismo tiempo, como testimonio del calor que habían experimentado, grandes cristales de minerales silicatados.

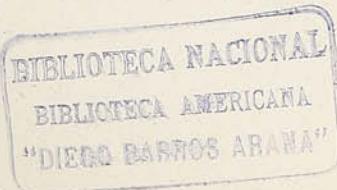
Estas modificaciones de las esquitas se han propagado a la distancia de algunas centenas de metros hasta 3 kilómetros de distancia. El calor, a que las estratas estaban sujetas, por efecto de la inyección de las masas eruptivas, es sin duda una de las causas. Pero las emanaciones de vapor, que acompañan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

Pero, por todas partes hai algo de mas notable aun en los fenómenos metamórficos. Rocas sedimentarias que ocupan países enteros, muestran modificaciones profundas, sin que sea posible descubrir 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 llamas, 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 mineralójico 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 caractéres cristalinos: sus rocas arcillosas son idénticas a las que se presentan en los terrenos recientes. Pero, se observa entonces que, en lugar de estar mui dislocadas, conservan su horizontabilidad original, circunstancias a las cuales deben sin duda su conservacion. Este contraste mineralójico, 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 jeoloxía, 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, carboniferas, 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 serie 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 más 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 oblícuos, como pasa en las pizarras de Fumay; i, lo que es más 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 más pronunciadas quedando siempre paralelos entre sí. Esta independencia demuestra que los planos de clivaje se han producido, no sólo después que los terrenos donde se manifiestan se han depositado, pero aun después que ellos habían perdido su horizontabilidad primitiva. La disposición esquitosa, muy frecuente en las rocas fosilíferas las más antiguas, persiste a veces en los terrenos más 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. Además, i con no menos frecuencia, son restos de moluscos, designados bajo el nombre de belemnitas, los que aparecen tronchados i cuyos segmentos están más o menos separados, como se ha observado en los Alpes i particularmente en el macizo del Monte Blanco.

Después de reconocer que la esquitosidad es independientemente de la estratificación, la causa de una disposición geométrica tan notable i tan general, ha llegado a ser el objeto de diversas hipótesis; pero sólo el estudio ha venido a demostrar que la producción del clivaje en los terrenos estratificados, está en relación, 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.

Esperencias 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 dirección 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 hacia 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 irradacion. 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 enérjica: es el calor enjendrado por las acciones mecánicas, que han estampado sus rastro, 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 sumerjídos 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, trasformado en calor, este mismo calor cuyos efectos acabamos de mencionar.

La esperiencia ha venido a confirmar esta última inducción. 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 rócas 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 esquitas 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 haría una simple acción calorífica, no es siempre en las partes en contacto con las rocas eruptivas donde los efectos han sido más enérgicos. El agua, que todas las rocas encierran, sea en los poros, sea en combinación, ha intervenido necesariamente como auxiliar del calor. La naturaleza de los minerales producidos, por ejemplo, los silicatos hidratados, como la clorita, no menos que la uniformidad de su disposición en vastos macizos, denotan la intervención de esta agua interior. Así, en este orden de fenómenos geológicos, donde se ha podido creer que el calor acompañado de algunas acciones químicas, había sido el sólo agente, se reconoce que el agua subterránea ha desempeñado también su papel.

Era necesario justificar por la experiencia 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 transformación completa, tanto en su aspecto como en su composición. Se le encontró cambiado en una masa blanca, del todo opaca, parecida a la kaolina, con remolinos ampollados i algunas veces también laminada; con el material de la sustancia se habían 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 jodas, siendo imposible distinguirlos de los de la naturaleza.

Otro producto de las mismas experiencias no merece menos nuestra atención; 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 acción 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 esperimentó 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 esperencias.

Así, estas esperencias 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 rejones 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 menos 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 orden de superposicion; pero desde el momento que encontramos 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 *pórfitos cuarzíferos*, que principian apa-

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

Las *serpentinas* 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 *melaфиros* 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 continua 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 pórpidos, 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 pórpidos cuarzíferos forman, sin embargo, algunos filones bastante estensos, aunque bastante delgados jeneralmente i han salido, por consiguiente, mas fluidos que los granitos. Los pórpidos 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 entonces mas jeneral i se hace sentir en una mayor escala. En fin, existe una gran diferencia en el modo de emision de los pórpidos 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 solevantado 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 pómex.

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 estremas. 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 hacia 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 experiencias 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 fusión. 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 lejos i decir que la Tierra ha sido primitivamente toda ella fluida formando un enero 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 volumen mas considerable, por cuanto reune las $\frac{699}{700}$ 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 miéntras 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 contracción; i esta contracción siendo mas poderosa en la corteza exterior, que se enfriaba mas ligero, debía 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 destrucción parcial o total de las especies organizadas, entonces existentes. Estos solevantamientos han constituido el límite de las diversas formaciones geológicas.

Desuidando las influencias locales, debidas a la mayor o menor resistencia de los terrenos solevantados, el conjunto de las rasgaduras producidas, en la misma época geológica, forma una serie 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 serie de líneas rectas paralelas, cuya dirección 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 interés al geólogo, i le permite levantar la carta geográfica i física del globo, en las diversas épocas geológicas. 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

Dirección N., $26\frac{1}{2}^{\circ}$ hacia el E.

Este solevantamiento es el más antiguo de Chile, porque se refiere principalmente a la inyección de las rocas graníticas. Hay en Chile tres líneas: 1.º desde Nahuelbuta a Curicó; 2.º desde Lumaco hasta el Tinguiririca; 3.º el eje de la cordillera de los Andes, desde el volcán Chillán al Tupungato.

Hay también erupciones aisladas de menor importancia en Santiago, desde la Palmilla a Marga-Marga, pasando por Zapata i Tilitil (Tapigüe).

Hay también ramales de los Andes en varios puntos.

Sistema chileno

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

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

Pissis hace notar dos círculos principales:

1.º Desde el volcán Chillán al estrecho de Magallanes, i en el norte de Chile, desde Cerro Negro a Limón Verde.

2.º Desde el Morro de Arica hacia 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 también las principales minas de Chile.

La sienita ha levantado principalmente en Chile la arenisca roja, que no es sólo el orígen 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 hacia 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 orígen 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 *Des-
cubridora*, *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 inyección de las hiperstenitas. Varias de las cordilleras transversales de Chile siguen esta dirección, 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 dirección del sistema chileno; se las encuentran a intervalos en la cordillera de los Andes, dominando sobre todo desde el volcán 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, Chocelimpie, Turuquirí, Carranzas, Cacachara, Puno, etc.



