

DRAKONTOS

Charles Lyell

Elementos
de geología

Estudio preliminar de
José Pedro Calvo

DK

CLÁSICOS DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

CRÍTICA

Elementos de geología

Charles Lyell

Edición de
José Pedro Calvo Sorando

Traducción castellana de
Joaquín Ezquerro del Bayo

CRÍTICA
BARCELONA

Primera edición: febrero de 2011
Primera edición en esta nueva presentación: enero de 2019

Elementos de geología
Charles Lyell

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal)

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita reproducir algún fragmento de esta obra.
Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47

Título original: *Elements of Geology*

© Charles Lyell, 1838

© de la traducción, Joaquín Ezquerro del Bayo, 1847
© de la introducción y la edición, José Pedro Calvo Sorando, 2011

© Editorial Planeta S. A., 2019
Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España)
Crítica es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.

editorial@ed-critica.es
www.ed-critica.es

ISBN: 978-84-9199-066-6
Depósito legal: B. 28767 - 2018
2019. Impreso y encuadernado en España

El papel utilizado para la impresión de este libro es 100 % libre de cloro y está calificado como papel ecológico.

CAPÍTULO I

DE LAS CUATRO GRANDES CLASES DE ROCAS, SEDIMENTARIAS, VOLCÁNICAS, PLUTÓNICAS Y METAMÓRFICAS

Definición de la geología.—Formación sucesiva de la corteza terrestre.—Clasificación de las rocas según su origen y su antigüedad.—Rocas acuosas: de su estratificación y de los fósiles en ellas encerrados.—Rocas volcánicas, con y sin conos ni cráteres.—De las rocas plutónicas y de su relación con las rocas volcánicas.—De las rocas metamórficas y de su origen probable.—Causa de la aplicación errónea de la palabra «primitivas» a las formaciones cristalinas.—División de la obra en dos partes: comprendiendo la primera la descripción de las rocas sin considerar su edad respectiva, y tratando la segunda de su cronología

¿Cuáles son las materias de que se compone la tierra, y de qué manera están dispuestas estas materias? Éstos son los problemas cuya solución constituye el objeto de la geología, ciencia cuyo nombre deriva del griego *ge*, la tierra, y *logos*, discurso. Semejantes investigaciones parecen, al primer aspecto, referirse exclusivamente al reino mineral o a los diversos terrenos, metales y rocas, que se encuentran bien sea a la superficie de la tierra, o bien a diferentes profundidades. Pero al emprender estas investigaciones se ve bien pronto la necesidad de examinar los cambios sucesivos que se han verificado en el antiguo estado de la superficie y del interior de la tierra, y de las causas que han dado lugar a estos cambios. Bien pronto también, ¡cosa más singular y todavía más inesperada! se viene a caer en las investigaciones relativas a la historia de la creación animada, o sea de las diversas familias de animales y de plantas que, en los tiempos antiguos, han habitado en diferentes épocas la superficie del globo.

Nadie ignora que la parte sólida de la tierra está constituida de diferentes materias, tal como la arcilla, la creta, la arena, la piedra calar, la hulla, el esquisto, el granito y otras semejantes; pero los que no se han dedicado a la observación suelen creer que todas estas sustancias han permanecido siempre en el estado en que las vemos hoy día, que ellas han sido creadas con su forma y en su posición actuales. Los geólogos lo juzgan de otro modo. Diversas pruebas les han puesto en estado de reconocer que, en el origen de las cosas, la mayor parte de las sustancias exteriores de la tierra no fueron producidas ni instantáneamente, ni en el estado en que se hallan ahora; sino que al contrario, ellas han adquirido progresivamente su configuración y su condición de existencia actuales, bajo la influencia de una gran diversidad de circunstancias y en épocas sucesivas, durante cada una de las cuales razas distintas de seres organizados, cuyos restos están todavía envueltos en la corteza del globo, han vivido sobre la tierra y en las aguas.

Por la *corteza del globo* se entiende la pequeña porción del exterior de nuestro planeta que es accesible a la observación de los hombres. En ella se comprende, no solamente las partes cuya estructura se halla al descubierto en los precipicios de las montañas, o en las rocas bañadas por los ríos o por el mar y todo lo que el minero puede descubrir con sus excavaciones; ella abraza además el conjunto de esta capa exterior del planeta, sobre la cual nos es permitido raciocinar en consecuencia de las observaciones hechas en la superficie o cerca de la superficie. Aun cuando estos razonamientos puedan aplicarse a una extensión tal vez de $3\frac{1}{2}$ leguas en profundidad, semejante espesor debe ser considerado sin embargo como extremadamente limitado, puesto que no forma más que la cuadragésima parte de la distancia que separa la superficie del centro. Pero por insignificantes que aparezcan ser las dimensiones de esta corteza, comparativamente a la totalidad del globo, no dejan ellas de tener una extensión considerable con respecto al hombre y a los seres organizados que pueblan nuestro planeta. El geólogo puede por lo tanto admirar a la vez los vastos límites de su dominio, y reconocer que, no solamente el exterior de la tierra, sino el planeta mismo todo entero, no es más que un átomo en medio de los mundos sin cuento sometidos a la observación del astrónomo.

Las materias que forman esta corteza no están mezcladas ni reunidas confusamente; masas minerales distintas ocupan en ella, bajo el nombre de rocas, espacios definidos, y ofrecen al observador un cierto orden de arreglo y de armonía.

La palabra *roca* es aplicada indiferentemente por los geólogos a todas estas sustancias, prescindiendo de si son blandas o de naturaleza pétrea, porque la arcilla y la arena están comprendidas en esta denominación general; algunos la extienden aun hasta a la turba. Los antiguos autores ingleses se esforzaron en evitar esta confusión de lenguaje, designando las materias que constituyen la corteza terrestre bajo los dos nombres de rocas y de *terrenos*. Pero el paso desde el estado de blandura y de incoherencia al estado pétreo es algunas veces tan insensible que los geólogos de todos los países han creído indispensable adoptar para ambos casos un solo término técnico, el cual se expresa en inglés por *rock*, en italiano por *rocca*, en francés por *roche*, en alemán por *felsart*, y en castellano se dice *roca*. El principiante sin embargo, no debe jamás perder de vista que la palabra *roca* no implica de ningún modo el que la masa mineral haya de hallarse en un estado pétreo o de endurecimiento.

Se ha visto que, para clasificar las diferentes rocas que componen la corteza de la tierra, el modo más conveniente es tomar en consideración, primeramente su origen y después su edad. Yo me esforzaré, pues, en explicar ante todo, aunque sucintamente, cómo pueden dividirse todas las rocas en cuatro grandes clases con relación a su origen diverso, o en otros términos, con relación a las diferentes circunstancias y causas que las han producido.

Las dos primeras divisiones de que nos ocuparemos desde luego, como las más naturales, son aquellas que comprenden las rocas sedimentarias y las rocas volcánicas, es decir, los productos del agua y los de la acción ígnea.

Rocas acuosas.—Las rocas acuosas, llamadas también rocas sedimentarias o fosilíferas, constituyen una grandísima parte de la superficie de la tierra. Estas rocas se presentan *estratificadas*, o divididas en lienzos distintos o estratos. La palabra *estrato* significa simplemente un lecho o una cosa cualquiera extendida o depositada sobre una superficie dada. Es lo que vemos verifi-

carse todos los días junto a las embocaduras de los ríos, o bien sobre la tierra en las inundaciones accidentales, lo cual nos hace suponer que aquellas capas han sido en general formadas por la acción del agua. Siempre que la velocidad de una corriente que va cargada con légamo o arena pierde su velocidad, como por ejemplo, cuando dicha corriente entra en un lago o en el mar, o cuando inunda una llanura, el sedimento que antes se hallaba en suspensión a causa del movimiento del agua, cae entonces al fondo en virtud de su propio peso. De este modo es como se verifica la deposición sucesiva de capas de légamo y de arena.

Cuando se deseca un lago que ha estado alimentado por un pequeño arroyo, sucede muchas veces que el fondo de este lago presenta una serie de depósitos, dispuestos los unos sobre los otros con una notable regularidad. Así por ejemplo, el depósito superior o el primero de todos, contando de arriba para abajo, es algunas veces una capa de turba; el segundo, es una capa de la misma materia, pero ya más compacta y unida; el tercero, es una marga conchífera laminosa, alternando con turba o con arena; los depósitos siguientes consisten en capas de marga separadas por otras de arcilla. Si se hace una excavación en otro punto cualquiera de la misma *formación* lacustre, se vuelve a encontrar sobre poco más o menos la misma serie y orden de capas; pueden sin embargo faltar en la segunda investigación algunos lechos de arena, de arcilla o de marga de la primera serie, o bien haber disminuido considerablemente de espesor, y aun también haber sido reemplazados por otros de distinta naturaleza; otros lechos o capas pueden por el contrario encontrarse más poderosas, haciendo disminuir sus colaterales superior e inferior, o desaparecer enteramente.

La palabra *formación*, que he empleado en la precedente explicación, expresa en geología una reunión de rocas que, consideradas con respecto a su origen, edad o composición, tienen algún rasgo común de semejanza. Así se dice formaciones estratificadas o no estratificadas; formaciones de agua dulce y marinas; sedimentarias o volcánicas, antiguas y modernas, metalíferas y no metalíferas.

En los estuarios de los grandes ríos, como el Ganges y el Mississippi, se pueden observar en la baja marea fenómenos análogos a lo antes dicho de lagos desecados, pero presentándos-

se en una escala más considerable, y extendiéndose sobre superficies de cientos de leguas en todas direcciones. Cuando se retiran las aguas de las inundaciones periódicas, el río abre un canal de muchas varas de profundidad en las capas horizontales de arcilla y de arena, cuyas correspondencias y superposición quedan de manifiesto en los escarpes verticales. Estas capas varían de color y contienen algunas veces leños o bien conchas, que sirven entonces para caracterizarlas. Las conchas pueden pertenecer a especies particulares del mismo río; algunas veces, sin embargo, provienen de testáceos marinos que, durante las tormentas, han sido arrojados a la embocadura del estuario.

Las inundaciones anuales del Nilo, en Egipto, son bien conocidas, lo mismo que la fertilidad debida al depósito de légamo que dejan sobre las llanuras. Este légamo está *estratificado*; la pequeña capa depositada en cada año se diferencia algún tanto en el color, y puede sacarse con separación, como se ha observado en varias excavaciones hechas en el Cairo y en otros sitios.*

Cuando los lechos de arena, de arcilla y de musgo que contienen conchas y materias vegetales se encuentran dispuestas de la misma manera en el interior de la tierra, entonces se les atribuye un origen análogo o semejante; cuanto más cuidado se pone en estudiar el detalle de sus caracteres, tanta mayor exactitud se encuentra en su semejanza. Así por ejemplo, a diversas alturas sobre la superficie de la tierra, a diferentes profundidades debajo de ella y lejos muchas veces de todo mar, se encuentran lechos de cantos rodados procedentes de distintas clases de rocas y mezclados unos con otros. Estos cantos son semejantes a los que ahora se forman en los lechos de los torrentes y de los ríos, y que son arrastrados hasta el mar, siempre que éste no se halle muy distante. Las olas y las corrientes del Océano remueven este cascajo y lo extienden sobre un espacio considerable; pero, durante las estaciones de sequía, los torrentes y los ríos apenas tienen agua, y por lo tanto no pueden arrastrar hasta el

* Este mismo fenómeno, aunque en muy pequeña escala, se observa en varios ríos de la costa de Almería que sólo traen agua cuando el derretimiento de las nieves de Sierra Nevada, o cuando hay lluvias abundantes en aquella cordillera. El légamo vivificador que depositan se llama en el país *tarquin*.—J. E.

mar más que la arena fina y el légamo. Consiguiente a estas causas es por lo que, en el interior de todos los continentes, encuentran los geólogos capas alternantes de guijos y de sedimento que se han ido acumulando debajo del agua.

Aun cuando la colocación estratificada y las formas redondeadas de los cantos son unos datos suficientes para demostrar que ciertas rocas han tenido su origen debajo del agua, este hecho se halla además confirmado por el testimonio tan claro como independiente de los *fósiles*, que tan abundantemente se encuentran esparcidos en la corteza del globo. Por *fósil* se entiende todo cuerpo, o bien la marca de la existencia de todo cuerpo, sea animal o vegetal, que ha quedado envuelto en la tierra por efecto de causas naturales. Pero, cuasi por todas partes se encuentran, en las rocas estratificadas, restos de animales particularmente de especies acuáticas. Muchas veces con las conchas y los corales, que es lo que más frecuentemente se encuentra, están mezclados osamentas y dientes de pescados, fragmentos de árboles, impresiones de hojas y otras diversas sustancias orgánicas. Conchas fósiles, de formas enteramente semejantes a las que hoy día abundan en el mar, se encuentran muy tierra adentro, no sólo sobre la superficie, sino también a grandes profundidades, por lo menos hasta donde ha podido llegar el trabajo del minero. Se encuentran también a todas las alturas conocidas sobre el nivel del Océano, en los Alpes y en los Pirineos a ocho mil y nueve mil pies de elevación; en los Andes a más de trece mil, y en el Himalaya a más de quince mil.

Estas conchas pertenecen la mayor parte a testáceos marinos; pero en algunas localidades sus formas indican exclusivamente especies características de lagos y de ríos. De aquí es consiguiente deducir que algunas de las antiguas capas terrestres fueron depositadas en el fondo del mar, mientras que otras se formaron en los lagos y en los *estuarios*.

En la época en que empezó a cultivarse la geología, se creía generalmente que estas conchas marinas y otros fósiles eran a la vez los efectos y las pruebas del diluvio universal. Pero los que se han hallado en el caso de estudiar detenidamente estos fenómenos, han desechado hace tiempo semejante doctrina. Se podría muy bien suponer que una inundación pasajera dejase tras de sí sobre la superficie, momentáneamente cubierta por las

aguas, porciones de légamo, de arena y de guijo mezcladas confusamente con las conchas; pero los estratos rellenos de fósiles no son depósitos superficiales y no recubren la tierra, sino que constituyen la masa entera de las montañas. Algunos escritores modernos, convencidos de que no todos los cuerpos fósiles pueden ser atribuidos al diluvio, han supuesto que la deposición de estos cuerpos en el fondo del Océano, lo mismo que las capas en que se hallan envueltos, puede haberse verificado durante un período de muchos miles de años transcurridos entre la creación del hombre y el diluvio. Ellos imaginan que el fondo antediluviano del Océano, después de haber sido el receptáculo de varios depósitos estratificados, fue, en la época del diluvio, convertido en continentes (los que habitamos hoy día) y que los antiguos continentes, sumergidos entonces, vinieron a constituir el fondo de los mares actuales. Esta hipótesis, aunque preferible a la teoría diluviana, porque admite que todas las capas fosilíferas han sido depositadas por el agua lenta y sucesivamente, es todavía insuficiente para explicar las repetidas revoluciones que la tierra ha sufrido y las marcas que, en la mayor parte de las regiones del globo, presentan los continentes actuales correspondientes a la época de su emersión fuera del Océano; cuyas marcas prueban que dicha emersión debió de verificarse en una época mucho más remota que los cuatro mil años que se dan a la actual. También haremos ver más adelante que un gran número de series distintas de estratos sedimentarios, de muchos cientos y aun de muchos miles de pies de espesor cada una, yacen las unas sobre las otras en la corteza terrestre, conteniendo cada una sus especies particulares de animales y de plantas fósiles, especies que, con muy cortas excepciones, se diferencian todas ellas de las especies que viven en la actualidad. La masa de algunos de estos estratos está formada cuasi enteramente de corales; hay estratos formados de conchas, otros están constituidos por plantas transformadas en carbón, al paso que hay estratos libres de fósiles absolutamente. En una serie de estratos los fósiles pertenecen a especies marinas; en otra serie, colocada inmediatamente encima o debajo, la naturaleza de los fósiles indica de un modo evidente que el depósito se verificó en un lago o en un estuario. El que llegue a observar cuidadosamente el detalle de todos estos hechos, se convencerá de que el tiempo ne-

cesario para la formación de los continentes actuales debe de haber sido de mucha más duración que la que le concede la teoría a que nos referimos, y que una transformación universal y repentina de los mares en continentes no podría dar cuenta de los fenómenos geológicos.

Aun cuando todas las rocas comprendidas en la gran división que acabamos de indicar puedan diferir entre sí, interior y exteriormente, por toda clase de caracteres, tal como su composición mineralógica, su color, su grano, etcétera, no dejan por eso de poderse agrupar o reunir en cuanto a su origen común. Todas ellas han sido formadas debajo del agua, del mismo modo que la arena, el légamo, el cascajo, los bancos de conchas, el coral y otras sustancias semejantes; y están caracterizadas bien sea por la estratificación o por los fósiles, o bien por las dos circunstancias a la vez.

Rocas volcánicas.—La segunda gran división, que vamos ahora a pasar en revista, comprende las rocas volcánicas; es decir, las que han sido producidas, sea en las edades antiguas, sea en los tiempos modernos, no por el agua, sino por la acción del fuego o del calor subterráneo. La mayor parte de estas rocas no están estratificadas ni contienen fósiles. Ellas ocupan espacios más circunscritos que las rocas sedimentarias, por lo menos con respecto a su extensión horizontal. Entre las diferentes localidades de Europa donde ellas ofrecen caracteres que no pueden dar lugar a equivocación, citaré no solamente la Sicilia y las cercanías de Nápoles, sino también la Auvernia, el Velay y el Vivarais, que actualmente forman los departamentos del Puy de Dôme, de la Haute-Loire y del Ardèche, cuyas localidades situadas en el centro y en el mediodía de la Francia contienen varios centenares de montañas cónicas, de la misma configuración que los volcanes modernos, con cráteres más o menos regularizados en sus cimas. Estos conos están compuestos principalmente de lavas, de cenizas y de arenas en un todo semejantes a las de los volcanes en actividad. Algunas veces se encuentran corrientes de lavas que, descendiendo de los conos a los valles adyacentes, han rellenado con roca sólida y compacta las antiguas madres de los ríos: esto mismo se ha verificado modernamente en Islandia con las corrientes de aquel volcán. En estos casos, el agua del río

corre por debajo de las lavas endurecidas, o bien se abre un paso estrecho por un costado de ellas. Aun cuando ninguno de estos volcanes de Francia hayan estado en actividad desde los tiempos históricos o tradicionales, sus formas son por lo común muy regulares. Algunos de ellos, sin embargo, han sido comparados a verdaderos esqueletos de volcanes, en razón a la denudación de sus flancos por la acción de las lluvias y de los torrentes, que han arrastrado consigo todo lo que era arena y escoria, dejando las materias más duras y más sólidas. Por medio de esta erosión y de los temblores de tierra, su estructura interior ha quedado al descubierto en las quebradas y en los barrancos; en este caso, no sólo se perciben capas y masas sucesivas de lava porosa, sino también muros perpendiculares (que se designan con el nombre de *diques*) de roca volcánica, que sobresalen al través de las demás sustancias. El Vesubio, el Etna y varios otros volcanes en actividad presentan también, en su estructura, diques de este género, los cuales deben su origen a la introducción de la materia fundida, verificada por lo alto o por lo bajo de las quebras o hendiduras del terreno. Las formaciones que más comúnmente atraviesan estos diques son depósitos de *toba volcánica*, sustancia producida por la arena y las cenizas que, después de haber sido lanzadas del interior de la tierra por explosiones volcánicas de gas, vuelven a caer sobre el terreno y son arrastradas por las aguas superficiales.

Además de las localidades de Francia arriba mencionadas, hay todavía otras regiones, tal como la España septentrional, la parte meridional de la Sicilia, el territorio toscano, las provincias del Rin inferior y la Hungría, donde existen volcanes apagados con sus conos, sus cráteres y muchas veces también con corrientes de lava.*

En Inglaterra, en Escocia, en Irlanda y en cuasi todos los reinos de Europa, existen otras rocas que son consideradas como de origen ígneo, aun cuando no forman montañas con cráteres ni conos. Así es, por ejemplo, que no se pone la menor

* Además de los Pirineos de Cataluña, a que se refiere el autor, en el mediodía de España, en la Sierra de Cabo de Gata, en la costa de Mazarrón y otros sitios, se pueden también observar estos mismos fenómenos de volcanes antiguos apagados.—J. E.

duda sobre el origen volcánico de las rocas basálticas de Staffa y de la Calzada de los Gigantes, y esto porque su estructura columnaria y su composición mineralógica concuerdan con las que presentan las corrientes de lava, que se sabe son procedentes de cráteres volcánicos. Se encuentran también, en diferentes puntos de las Islas Británicas, rocas basálticas de esta especie, asociadas con lechos de *toba* y formando diques semejantes a los antes descritos. Algunos de los estratos a través de los cuales penetran estos diques se hallan algunas veces alterados en la superficie de contacto, como si hubieran sufrido la acción del intenso calor de una materia fundida.

La ausencia de conos, de cráteres y de corrientes estrechas y prolongadas, que se observa en Inglaterra y en otras varias localidades, es atribuida por los geólogos a que, las erupciones volcánicas que en otro tiempo pudieran tener lugar en estos diferentes sitios, eran erupciones submarinas, semejantes a las de un gran número de volcanes que ahora mismo existen en el fondo de ciertos mares. Pero ésta es una cuestión de que nos ocuparemos con más detención en los capítulos relativos a las rocas ígneas, en cuyos capítulos se verá que, así como varias rocas sedimentarias conteniendo cada una sus fósiles característicos han sido depositadas en épocas sucesivas, del mismo modo en varias épocas diferentes, las arenas y escorias volcánicas han sido proyectadas del interior del globo, y las lavas corrieron por la superficie del terreno o sobre el fondo del mar, o bien se inyectaron dentro de las hendiduras que se habían formado en las rocas. Según esto, se ve que las rocas ígneas y las rocas sedimentarias pueden clasificarse como una serie cronológica de monumentos propios a dar mucha luz sobre una porción de sucesos relativos a la historia de la tierra.

Rocas plutónicas. (Granito, etc.)—Si después de haber establecido la existencia de dos órdenes distintos de masas minerales, a saber, las masas acuosas y las masas volcánicas, venimos a examinar alguna gran porción de un continente, podemos con anticipación, sobre todo si en este continente hay una cordillera considerable de montañas, estar cuasi seguros de encontrar otras dos clases de rocas muy distintas de las que nos hemos referido antes, y que no pueden ser asimiladas ni a los depósitos

actualmente acumulados en los lagos y en los mares, ni a los depósitos producidos por la acción volcánica ordinaria. Las rocas que componen estas dos últimas divisiones se asemejan por ser eminentemente cristalinas y por carecer absolutamente de restos orgánicos. Las unas han sido llamadas *plutónicas*, y comprenden todos los granitos y algunos pórfidos, los cuales, bajo ciertas relaciones, pueden ser considerados como agregados a las formaciones volcánicas. Las otras son estratificadas y a veces esquistas: algunos geólogos les han dado el nombre de *esquistos cristalinos*. En esta clase de rocas se comprenden el gneis, el esquisto micáceo, el esquisto anfibólico, el mármol estatuario, las más bellas especies de pizarras propias para cubrir edificios, y otra diversidad de sustancias minerales que describiremos más adelante.

Estando reconocido que, en el modo de formación que rige hoy día sobre la superficie del globo, nada hay que sea estrictamente análogo a estas producciones cristalinas, se preguntará tal vez bajo qué datos se las ha podido asignar su colocación en un sistema de clasificación fundado en el origen de las rocas. A esto responderemos que esos datos reposan, primero, sobre la analogía de origen que, según el tránsito observado de varias clases de granitos a diferentes especies de rocas volcánicas, ha sido reconocido entre estas últimas y las rocas plutónicas; y en segundo lugar sobre la observación de que ciertas masas graníticas arrojan de sí diques y venas en las capas contiguas, al modo, sobre poco más o menos, como la lava y la materia volcánica penetran en los depósitos sedimentarios; las masas graníticas y las venas ocasionan entonces alteraciones análogas a las que producen las lavas y los gases volcánicos. Pero las rocas plutónicas difieren de las volcánicas, no sólo por su textura más cristalina, sino también por la falta de tobas y de brechas, que son productos de las erupciones que se verifican en la superficie de la tierra. Ellas se diferencian también por carecer de poros o cavidades celulares que, en la lava ordinaria, son producidas por la compresión de los gases. Por estas particularidades, y algunas otras todavía, se ha llegado a inducir que los granitos han sido formados a grandes profundidades en la tierra; que se han enfriado y han cristalizado lentamente bajo una presión enorme, que impedía la dilatación de los gases comprimidos.

Las rocas volcánicas por el contrario, aunque surgiendo también de abajo y en un estado de fusión, se enfriaron más rápidamente en la superficie o cerca de ella. Esta hipótesis de la gran profundidad en que se forman los granitos, les ha hecho dar el nombre de *rocas plutónicas* para distinguirlas de las volcánicas, y es fácil comprender que, tanto las unas como las otras, aunque difieran en textura y algunas veces también en composición, pueden ser engendradas simultáneamente, las volcánicas en la superficie, y las graníticas a una gran distancia en el interior.

Aun cuando el granito haya penetrado muchas veces a otras rocas, en raras ocasiones o tal vez nunca se le ha observado descansando sobre los estratos, como si hubiera corrido líquido por encima de ellos. Las rocas volcánicas, por el contrario, siempre están colocadas de este modo, por cuya razón el Dr. Mac-Culloch las ha llamado *superyacentes*, mientras que Mr. Necker ha propuesto dar a los granitos el nombre de *subyacentes*, para designar el modo como ellas se presentan casi invariablemente.

Rocas metamórficas.—La cuarta y última gran división de las rocas comprende los estratos cristalinos y las pizarras o esquistos, conocidos con los nombres de gneis, esquisto micáceo, pizarra arcillosa, esquisto clorítico, mármol y otras varias sustancias del mismo género, cuyo origen no es tan claro como el de las otras tres clases. Ellas no contienen ni cantos, ni arenas, ni escorias, ni fragmentos angulares de piedra embutidos, ni señales de cuerpos organizados, y muchas veces son tan cristalinas como el granito, aunque divididas en capas o lechos a la manera de las rocas sedimentarias; y de aquí procede el llamarlas estratificadas. Los lechos de las rocas metamórficas consisten algunas veces en una alternancia de sustancias que, variando en color, en composición y en espesor, ofrecen la mayor analogía con las apariencias que presentan los depósitos estratificados fosilíferos. Siguiendo la teoría que yo he adoptado como la más probable, y que me propongo explicar con más detalles, las materias que componen estos estratos fueron originariamente depositadas por el agua, bajo la forma ordinaria de sedimento; pero posteriormente han sido alteradas por el calor subterrá-

neo, habiendo adquirido otra textura. Se puede demostrar que, por lo menos en algunos casos, esta transformación ha terminado ya en el día. Ciertos estratos, como ya he tenido ocasión de indicarlo, dejan percibir, en las inmediaciones de su contacto con venas y diques volcánicos, una alteración semejante a la que podría producir un intenso calor. Estas alteraciones sin embargo no se presentan en dichos estratos sino bajo muy pequeña escala, mientras que, con circunstancias diferentes y en combinación tal vez con otras causas, una influencia de esta especie ha tenido lugar de un modo mucho más enérgico en la proximidad de las rocas plutónicas. Los efectos producidos de este modo sobre las capas fosilíferas se han manifestado algunas veces hasta cerca de medio cuarto de legua de distancia, contado desde el punto de contacto. En la mayor parte de este espacio, los estratos con fósiles han cambiado su textura terrosa por una textura eminentemente cristalina y han perdido toda traza de restos orgánicos. Así, por ejemplo, las calizas negruzcas llenas de conchas y de corales se encuentran transformadas en mármol blanco estatuario, y las arcillas en pizarras llamadas micaesquisto y esquisto anfibólico, sustancias en que no se ve el más ligero indicio de cuerpos organizados.

Aunque la verdadera naturaleza de esta influencia nos es todavía desconocida, no se puede negar sin embargo que tiene alguna analogía con la que son capaces de producir el calor volcánico y los gases. Esta acción, por otra parte, puede muy adecuadamente ser llamada plutónica; porque parece haber sido desenvuelta en las regiones en que se produjeron las rocas plutónicas, o por lo menos en circunstancias análogas de presión y de profundidad. Que la electricidad, o cualquiera otra causa, haya cooperado con el calor a producir esta influencia, es lo que abandonamos gustosos al campo de la especulación; pero lo que sí hay de cierto es que la influencia plutónica ha penetrado algunas veces a través de la masa de los estratos de toda una montaña. La inmensa escala en que se presentan algunas veces estos fenómenos nos debe hacer evitar la suposición de que la textura cristalina y alterada de los estratos sea únicamente debida a la proximidad del granito; esta circunstancia debe más bien inducirnos a creer que la textura cristalina del granito mismo procede también de la acción plutónica.

Arreglándome a esta hipótesis, he propuesto (véase *Principles of Geology*) la palabra *metamórficas* para designar los estratos alterados, derivándola del griego *meta* y *morphos*.

Consideradas con respecto a su origen, es preciso pues contar cuatro grandes clases de rocas; las rocas sedimentarias, las rocas volcánicas, las rocas plutónicas y las rocas metamórficas, que todas ellas puede suponerse haber sido formadas contemporáneamente en cada época geológica y seguir todavía ahora en vía de formación. Con un golpe de vista a la lámina de la portada, el lector percibirá desde luego cuáles son las posiciones relativas que pueden ocupar en la corteza terrestre los miembros de estas cuatro grandes clases A, B, C, D, durante el curso de su producción simultánea. Mientras que los depósitos sedimentarios A, que están marcados con el color amarillo, se acumulaban en estratos sucesivos en el fondo del mar, el cono volcánico B se elevaba poco a poco, amontonando capas sobre capas, durante una larga serie de erupciones; por lo que hace a las otras rocas ígneas, señaladas con color violado, también han sido lanzadas hacia arriba en un estado fluido. Algunas de ellas, siendo procedentes de erupciones submarinas, han corrido sobre el fondo del mar, mezclándose allí con los sedimentos de las aguas. Si seguimos de arriba para abajo, bien sean los pequeños diques o bien las grandes masas de rocas volcánicas, encontramos que van pasando gradualmente a las formaciones plutónicas D, pintadas de carmín, y colocadas debajo de las anteriores. Las rocas plutónicas se hallan también en contacto con una zona de capas metamórficas contemporáneas C, dadas de azul, a las cuales envían aquéllas una porción de venas.

En la parte del dibujo que no tiene colorido se ve una serie más antigua de masas minerales, pertenecientes también a las cuatro grandes divisiones de rocas. Las capas figuradas de *a* hasta *i* representan otras tantas formaciones sedimentarias distintas, las cuales han sido producidas en épocas diversas, distinguiéndose cada una por sus fósiles particulares. La masa *v v* es de origen volcánico y contemporánea de la época en que se depositaron las capas *g*. Las capas *m* representan formaciones metamórficas antiguas, y las marcadas 1 y 2 indican rocas plutónicas, antiguas también, pero de distintas épocas.

Tendremos ocasión de ver más adelante que, grandes porciones de cada una de las cuatro clases características de rocas, han sido producidas en épocas sucesivas diferentes. No es de ningún modo cierto, como suponían antes, que todas las rocas graníticas, lo mismo que los estratos metamórficos y los cristalinos, hayan sido formadas las primeras y que por consiguiente deban ser llamadas *primitivas*. Tampoco tenía fundamento el pretender que las rocas sedimentarias y volcánicas hubiesen sido después sobrepuestas a éstas y que, por consiguiente, debían llamarse secundarias. Esta idea fue adoptada en la infancia de la ciencia, cuando todas las formaciones, estratificadas o no estratificadas, terrosas o cristalinas, con o sin fósiles, eran igualmente consideradas como de origen sedimentario. En esta época se pensaba, como parecía natural, que los cimientos habían de ser más antiguos que el edificio; y como consecuencia se suponía que el granito, hallándose colocado a una profundidad mayor que todas las demás rocas, debía de haber sido el primer «sedimento de las aguas del Océano primitivo que, en un principio, envolvía al globo»; que las rocas cristalinas, y por último las capas fosilíferas, con otra diversidad de rocas, habían sido depositadas después.

Pero cuando la doctrina del origen ígneo del granito fue reconocida por la generalidad de los geognostas, las voces *primitivo* y *primario*, empleadas para las rocas plutónicas y metamórficas, debieron haberse eliminado de la nomenclatura geológica. Cuando se hubo demostrado que el granito había sido producido en un gran número de épocas diversas, las unas anteriores y las otras posteriores a la formación de muchos de los estratos fosilíferos, se demostró bien pronto que, algunos estratos que en un principio habían contenido fósiles, se convirtieron después en metamórficos en diferentes épocas; o en otros términos, que varias rocas de las llamadas primarias eran más recientes que otras de las llamadas secundarias. Esta circunstancia, habiendo dado lugar a la cuestión de saber si las porciones cristalinas inferiores de la corteza terrestre, modificadas parcialmente como ellas lo han sido, y renovadas de tiempo en tiempo, son más recientes o más antiguas, consideradas en su conjunto, que las formaciones sedimentarias y volcánicas, se ha seguido la otra cuestión de saber si es arriba o si es abajo (en el interior) donde

se ha manifestado con más energía el acto de la destrucción y de la reproducción. La misma cuestión, presentada en otros términos, podría hacerse con respecto a la antigüedad relativa de los cimientos y de los edificios de ciertas ciudades antiguas, tales como Venecia o Amsterdam, que descansan sobre pilotajes de madera; porque estas estacas, cuando llegan a podrirse, se pueden ir sacando y reemplazando con otras nuevas, unas después de otras, sin que peligren los edificios que ellas sostienen. Así pues, no dejaría de ser muy razonable el preguntar cuál de las dos partes, las estacas del pilotaje o los muros de piedra y ladrillo que ellas sostienen, ha sido más duradera o se ha renovado más veces en el curso de varios siglos. Del mismo modo, volviendo a lo que respecta a la estructura de nuestro globo, no hay nada que contradiga el que los materiales colocados en la parte inferior de la corteza terrestre pasen del estado sólido al estado líquido y que vuelvan después otra vez a ser sólidos, o que los estratos sedimentarios tomen una textura nueva y metamórfica, mientras que los estratos colocados en la parte superior queden inalterables o bien conserven caracteres por medio de los cuales pueda reconocerse su mucha antigüedad. Por otra parte, puede también verificarse que, durante estas alteraciones subterráneas, la corteza superior del globo sea conmovida y dislocada por temblores de tierra, que, en ciertos espacios de una extensión considerable, el suelo se levante o se rebaje lenta e insensiblemente; o que en fin, en muchos y muchos puntos broten erupciones volcánicas. Estas revoluciones sin embargo, no podrían alterar la gran masa hasta el punto de hacerla experimentar una nueva regeneración, es decir, hasta el punto de hacer que ella estuviese compuesta de nuevas rocas.

Todas las rocas cristalinas, estén o no estratificadas, debiendo bajo ciertos aspectos ser consideradas como pertenecientes a una sola y grande familia, se podrá algunas veces, para mayor comodidad, designarlas bajo un solo y mismo nombre; pero como el uso de la palabra primarias implicaría una contradicción manifiesta por las razones que acabamos de exponer, se hace necesario buscar un nombre nuevo, un nombre que no tenga significación cronológica y que, por una parte exprese alguna particularidad igualmente aplicable al granito que al gneis (rocas plutónicas y rocas alteradas), al paso que por otra parte

tenga relación con los caracteres por medio de los cuales estas rocas difieren, tanto de los estratos volcánicos como de los sedimentarios no alterados. En *Principles of Geology* he propuesto para este efecto la palabra *hypogene*, nacer abajo, para indicar que el granito y el gneis, lo mismo que las demás rocas cristalinas, son rocas que se han formado en el interior, es decir, que su forma y su estructura actuales no han sido desenvueltas en la superficie. Es cierto que, en su origen, todos los estratos metamórficos han debido de ser depositados en la superficie o sobre la parte exterior del globo que se hallaba entonces recubierta de agua; pero, según las opiniones manifestadas anteriormente, ellas no hubieran podido jamás adquirir su textura cristalina, a no haber sido modificadas por la acción plutónica y bajo las presiones que se ejercen en las profundidades de la tierra.

Por lo que acaba de decirse comprenderá el lector que cada una de las cuatro grandes clases de rocas puede ser estudiada bajo dos puntos de vista distintos: como simples masas minerales dan desde luego lugar al examen de su origen, de su composición, de su forma, de la posición que ocupan en la corteza terrestre y de otros diversos caracteres, tanto positivos como negativos, que sirven para reconocerlas y distinguirlas unas de otras. Por otra parte, estas mismas rocas pueden ser consideradas como una gran serie cronológica de monumentos, que atestiguan una larga continuación de sucesos en la historia antigua del globo y de sus habitantes.

Estos dos modos distintos de considerar cada familia de rocas, han debido naturalmente conducirme a dividir este tratado en dos partes. En la primera se describirán los caracteres de las rocas sedimentarias, volcánicas, plutónicas y metamórficas, sin tener en cuenta su edad ni las épocas en que fueron formadas. En la segunda, no sólo será objeto de un examen prolijo el estudio de sus diferentes edades, sino que me esforzaré además en explicar las reglas según las cuales se puede determinar la cronología de cada una de las cuatro clases de rocas.