

dades pueden llegar á un número de kilómetros bastante grande, y que las chimeneas cuyo orificio son los cráteres de ciertos volcanes, tienen una dimensión incomparablemente mayor que las de los mismos conos. Pero ¿hasta qué límites existen las capas de las materias fluidificadas por la elevación de la temperatura interna? ¿Forman depósitos aislados, locales, existentes tan sólo en las inmediaciones de los volcanes ó debajo de las regiones en que se ejerce particularmente la actividad eruptiva en sus distintas fases? ¿O por el contrario, las lavas que salen en los paroxismos volcánicos no son sino una porción de una masa incandescente que constituye el núcleo terrestre entero, ó bien una capa universalmente difundida, pero de limitado espesor, de este mismo núcleo?

Estas preguntas traen consigo otras, aunque de distinto género, relativas al origen del calor que mantiene las materias en cuestión en estado incandescente y fluido. Los antiguos creían que en el interior de la Tierra había focos encendidos semejantes á nuestros focos terrestres. Simbolizando este modo cándido de ver las cosas, hacían del Etna y de sus supuestas cavernas la mansión de los cíclopes, herreros de Vulcano; bajo el peso de su mole gemía Tifón, el gigante vencido por Júpiter, y los terremotos no eran en su concepto otra cosa sino el efecto de las sacudidas del gigante, sus esfuerzos para arrojar lejos de sí la masa con que le abrumaba la cólera de los dioses.

A fines del siglo XVIII la escuela geológica de Werner explicaba aún la incandescencia de las lavas como los antiguos, toda vez que admitía inmensos incendios subterráneos de hullas, lignitos y materias sulfurosas y bituminosas. Entre las varias objeciones que Davy opone á esta hipótesis, hace observar que por considerable que se quiera suponer la combustión subterránea de una capa de hulla, no puede dar un calor violento, pues faltando la libre circulación del aire, el ácido carbónico que se forma debe propender á impedir el desarrollo de la combustión. La observación demuestra la exactitud de este raciocinio. Con frecuencia se ven en las minas incendios de capas de hulla; pero resultan de ellos, añade Davy, "arcillas y esquistos recocidos, y jamás nada que se parezca á la lava." Un siglo antes se había recurrido á las reacciones químicas para explicar las erupciones volcánicas. Todo el mundo conoce el experimento del *volcán de Lemery*, que consiste en cubrir de una ligera capa de tierra una mezcla húmeda de flor de azufre y limaduras de hierro. Al cabo de cierto tiempo la tierra se hincha, se llena de grietas y salen de la mezcla abundantes vapores sulfurosos, hasta que el calor desprendido por la combinación química produce la incandescencia de la materia así preparada. De este modo pretendía explicar el ilustrado químico las erupciones volcánicas. Las reacciones químicas de este experimento consisten en un desprendimiento de hidrógeno y de ácido sulfhídrico, y dan principalmente sulfato de hierro. La falta de este último compuesto, la gran escasez de los gases hidrógeno y sulfhídrico en las deyecciones volcánicas y otras varias razones, hicieron que se desechase la teoría de Lemery, que aun estaba casi universalmente adoptada á fines del siglo pasado.

Gay-Lussac propuso otra explicación del calor necesario para los fenómenos volcánicos. El ilustre físico y químico opinaba que podía resultar de la acción del agua de las filtraciones sobre masas de cloruro, de silicio y de aluminio. Y en efecto, los productos de la reacción, ácido clorhídrico, sílice y alumina, son de los que suministran las lavas y las emanaciones de las erupciones. "Esta hipótesis, dice Fouqué acerca de este asunto, parece concordar con los hechos, mucho más que las anteriores, y sin embargo no es así. Ante todo, el mismo Gay-Lussac ha observado que la cantidad de ácido clorhídrico salida de un volcán, no está en modo alguno en proporción de la inten-

sidad de los fenómenos eruptivos. Fuera de esto, sería difícil explicar cómo puede estar encerrada en el seno de la tierra una substancia tan volátil como el cloruro de silicio; y por último, cuando se calcula la cantidad mínima de este cuerpo que hubiera debido intervenir para producir los fenómenos caloríficos y mecánicos de una erupción, como la de 1865 en el Etna, llega á resultar una cifra tan considerable, que es imposible suponer en el interior del suelo semejante acumulación de una substancia que hasta ahora ha sido exclusivamente un producto de laboratorio."

El ilustre Davy figuró también entre los que atribuían á las acciones químicas la temperatura elevada de las lavas. Admitía que esta temperatura procedía de la acción del agua sobre el potasio contenido en el interior de las capas terrestres. El agua quedaba descompuesta por este metal, al cual acudía el oxígeno, resultando de aquí un fuerte calor que inflamaba el hidrógeno puesto en libertad. Pero no tardó en desecharse esta hipótesis como la de Lemery y como lo fué también la de Gay-Lussac, aunque sólo fuera por la dificultad con que, de admitirla, se tropezaba, de tener que suponer la existencia de masas de potasio capaces de engendrar las inmensas corrientes de lavas que sabemos. Lo contado de las veces que aparece el hidrógeno en las erupciones contribuyó también á que se desechara la opinión del erudito inglés (1).

Restan, pues, las tres hipótesis que tienen divididos hoy á los geólogos: la de un núcleo terrestre que conserva todavía su incandescencia y su fluidez primitivas; la de una capa fluida continua de cierto espesor entre el núcleo terrestre y la corteza, sólidos ambos, y por fin la de que haya lagos aislados de lavas debajo de las regiones en que predomina la actividad volcánica.

Cualquiera que sea la solución de éstas que se adopte, siempre subsistirá la duda de cuál es la causa de la formación de los conos y de los cráteres de los volcanes, y la de las erupciones que ocurren en ellos en la sucesión de los tiempos. Admítase generalmente que el agente físico que ocasiona la formación de un cráter así como la erupción de uno ya formado, no es otra cosa sino la fuerza expansiva de los gases, fuerza que aumenta en razón de la temperatura y de la presión y también en la de la acumulación de las materias aeriformes en el interior de las cavidades subterráneas. Pero ¿cómo obra esta fuerza sobre las capas cuyo peso debe vencer? A esta pregunta han contestado de dos diferentes maneras dos escuelas de geólogos que tienen en general principios opuestos en cuanto concierne á las formaciones terrestres. Unos, con Leopoldo de Buch, Humboldt y Elías de Beaumont, consideran las grandes montañas crateriformes, como el Etna, formadas en su origen por un empuje vertical, de abajo á arriba, del núcleo fluido interior ó de la fuerza elástica de los gases internos sobre capas primitivamente horizontales. Cuando este empuje es bastante enérgico para vencer la presión debida al peso de las capas superiores, éstas ceden poco á poco y empieza á formarse en el punto de menor resistencia un levantamiento á modo de campana ó de ampolla. Vencida luego la elasticidad del terreno, se forma un desgarró ó abertura en el centro de la ampolla. Es el orificio ó cráter del volcán, cuyo cono está formado por las paredes levantadas é inclinadas por todas partes con arreglo al mismo ángulo.

La escuela opuesta, en la cual figuran sabios como Constant Prevost, Lyell y Pou-

(1) "La hipótesis de Davy, dice Fouqué, es la última hipótesis formal que se ha propuesto y sostenido para explicar los fenómenos volcánicos sin la intervención del fuego central. Pero vemos que no resiste un examen detenido; por consiguiente, se le debe desechar, y con ella todo conato de explicar los fenómenos eruptivos atribuyéndolos á acciones químicas."

le-Scrope, atribuye á otra causa la formación de los conos y de sus cráteres, aunque á la verdad es también la de la presión de las masas fluidas que actúan sobre las capas superiores produciendo en ellas grietas, por donde las materias incandescentes inyectadas producen esos dykes que se observan en las rocas de origen plutónico. Pero, según esta teoría, los conos no están ya formados por vía de levantamiento, sino que basta para ello la acumulación de las materias expulsadas. Cuando la presión es suficiente para que la grieta llegue hasta la superficie, la lava salta hasta ponerse en contacto con la atmósfera, y quedando entonces libres las burbujas de vapor que en ella había y cuyo desarrollo y expansión estaban contenidos por una presión enorme, estallan con una energía proporcionada á su tensión, ensanchan la grieta y le dan la forma de los orificios volcánicos. Una vez empezada la erupción, los fragmentos de lava arrojados al exterior por la explosión, las escorias, cenizas y bombas, se acumulan fuera y van levantando poco á poco el cono exterior del volcán. Ya hemos visto que después de una erupción, las lavas consolidadas y enfriadas tapan la abertura exterior del cráter, hasta que una nueva erupción tanto más violenta cuanto más larga y completa ha sido la obturación, hace volar de nuevo la cúspide del edificio, ensanchando con frecuencia su cráter y destruyéndolo á veces enteramente.

Todos los geólogos admiten este modo de formación de los conos volcánicos por la acumulación de los materiales arrojados durante las erupciones sucesivas, pero sólo con respecto á los conos adventicios ó secundarios, que son los que se forman en mayor ó menor número en los flancos del cráter primitivo. Los últimos geólogos que acabamos de nombrar juzgaban que así sucedía con todos los volcanes, lo mismo con los conos grandes que con los pequeños, al paso que Leopoldo de Buch y sus partidarios consideraban los volcanes principales formados por vía de levantamiento, dando sólo una importancia secundaria á los materiales expulsados por las erupciones en la formación de la montaña volcánica. En su concepto, estos materiales no eran más que la cubierta de un armazón anterior á las erupciones.

Séase lo que se quiera de esta divergencia de opiniones, y ya sea cierta una de las teorías con exclusión de la otra, ó bien más conforme á la verdad el considerar á las dos como ciertas en parte, tienen con todo un punto común, y es que ambas se basan en la existencia de lavas hechas incandescentes por una elevada temperatura. Admitido este punto, aun falta dar cuenta de la distribución geográfica de los volcanes activos, explicar la situación del mayor número de ellos á corta distancia de las costas, á lo largo de las grandes líneas de fractura, ó inmediatos á los centros de depresión del globo, y en fin, la carencia, si no absoluta á lo menos general, de volcanes en el interior de las masas continentales.

Esta desigual distribución de los volcanes en actividad es sin duda la que ha sugerido la hipótesis de la existencia de lagos de lava, diseminados y situados debajo de las regiones volcánicas, así como la que ha inducido á desechar la que suponía un núcleo terrestre enteramente fluido ó una capa fluida también de espesor limitado pero continuo. Al mismo tiempo se explicaba por la filtración de las aguas del mar, no tan sólo el origen de las masas de vapor de agua que despiden los cráteres, sino también el estado de fusión acuosa de las lavas cuya elevada temperatura aumentaban aún más las reacciones químicas suscitadas por dichas filtraciones.

La influencia de las aguas del mar en los fenómenos volcánicos no parece dudosa. El análisis químico de las deyecciones volcánicas, ya procedan de las erupciones propiamente dichas, como las lavas, ó bien salgan en estado de vapores y gases en las

fases de actividad solfatárica, ha demostrado que todas las sustancias que contienen existen también, y casi en la misma proporción, en las aguas del Océano. Las múltiples combinaciones que se forman en el seno de las lavas fluidas á temperaturas decrecientes, los gases que se ven en las fumarolas, los depósitos cristalinos que se recogen en las rocas contiguas, se explican perfectamente, dada la composición del agua del mar, por la acción que la temperatura ejerce en estas sustancias ó por sus reacciones mutuas (1). El análisis de los gases y de las emanaciones gaseosas de los volcanes, de que hemos procurado dar una sucinta idea, ha deparado el mayor grado de probabilidad á esta parte de la teoría de los fenómenos volcánicos, que ve en las filtraciones de las aguas del Océano que llegan á ponerse en contacto con las aguas terrestres fluidificadas por una elevadísima temperatura la causa principal de las erupciones.

Pero ¿cómo ocurren estas filtraciones, qué circunstancias las hacen posibles, y por

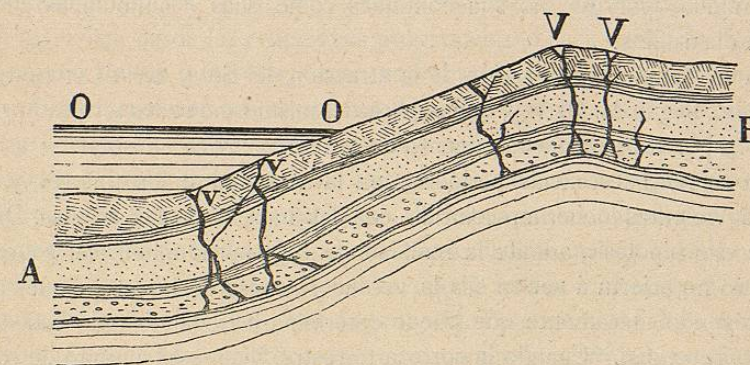


Fig. 169.—Fractura de las capas en los puntos de menor resistencia: origen de los volcanes terrestres y submarinos

qué razones afectan con preferencia á las regiones en que se agrupan los centros de actividad volcánica? Los sabios que admiten la teoría que ahora exponemos, responden que las filtraciones del agua del mar pueden tener lugar ó por grietas del terreno ó por penetración lenta á través de capas porosas. Es de notar que todas las capas del suelo inmediatas á los focos volcánicos han sido asiento de cataclismos geológicos en épocas más ó menos remotas. De aquí esos trastornos, esas hendeduras de la corteza terrestre que hacen comprender fácilmente la posibilidad de las filtraciones, sobre todo si se tiene en cuenta la proximidad de los volcanes activos á las costas del Océano. En una regiones así trastornadas, los canales de filtración pueden obstruirse fácilmente cuando el agua los ha recorrido y se ha introducido hasta la capa incandescente y fluida, lo cual explica la intermitencia de las erupciones; pero si esta irrupción tiene efecto sin dificultad y de un modo casi continuo, las erupciones más ó menos frecuentes presentan cierta periodicidad, como se ve en los volcanes de actividad estrombólica.

Antes de reconocerse la posibilidad y hasta la necesidad de la intervención del agua del mar en los fenómenos volcánicos, los geólogos que admitían la existencia de

(1) Para la demostración detallada de esta tesis, remitimos al lector á la erudita Memoria de M. Fouqué sobre los fenómenos químicos de la erupción del Etna en 1865. El autor prueba en ella que la mayoría de las sustancias encontradas en los productos volátiles de las lavas ó en las fumarolas son las que contiene el agua de mar, y en las mismas proporciones poco más ó menos; que sí en esta agua hay muchas sales que no se observan en las emanaciones volcánicas ó recíprocamente, la causa de estas anomalías aparentes depende de las circunstancias particulares y de las reacciones provocadas, y finalmente, que estas anomalías, en lugar de destruir la teoría, contribuyen á confirmarla.

un núcleo incandescente y fluido tenían que recurrir para explicar las erupciones á hipótesis hoy desechadas en todo ó en parte.

Los replegamientos de la corteza del globo ocasionados por la contracción de la materia enfriada y solidificada debían producir, según los unos, una presión en el núcleo fluido y por consiguiente una elevación de la lava por las chimeneas volcánicas formadas por levantamiento. Cordier, que admitía esta hipótesis, había calculado que bastaría una contracción del núcleo terrestre igual á $\frac{1}{500}$ milímetro para la emisión de la cantidad de lava vomitada en la erupción más grande que se hubiera observado en la superficie de la Tierra, y que por lo tanto una disminución de un milímetro en el radio terrestre podría producir quinientas erupciones de las más violentas. Pero ¿cuál es la rapidez de enfriamiento, cuál el valor de la contracción del núcleo terrestre? Se ignora. Además, y esta es una objeción capital, si las erupciones son efecto de esta contracción continua, ¿por qué no son continuas como ellas y simultáneas en todos los cráteres no obstruidos?

Se ha aducido también la acción de la atracción del Sol y de la Luna en el océano fluido interior. Según M. Perrey, que explica del mismo modo los terremotos, las erupciones tienen por causa el levantamiento de la marea lávica lunisolar. Si así fuese, se deberían notar recrudescencias periódicas en la actividad de los cráteres, y las erupciones más violentas deberían coincidir con las mareas de las sizigias. Discutiendo M. Fouqué esta hipótesis, admite la realidad de la atracción lunisolar sobre el fluido interior, pero no acierta á ver en ella la verdadera causa de las erupciones por varias razones, creyendo únicamente que puede determinarlas cuando todo está preparado para que sobrevengan. "Cuando la corteza terrestre, dice, está á punto de romperse á causa de la influencia de los efectos interiores ejercidos contra ella, por débil que sea el impulso de una marea subterránea puede bastar para ocasionar una grieta por la cual salgan lavas y otras materias expelidas ordinariamente en el curso de una erupción.,

Contra la hipótesis que supone un núcleo terrestre enteramente fluido é incandescente, se han alegado varias razones que no reproduciremos aquí; pues, en efecto, no es necesario admitir íntegramente esta hipótesis para la teoría de los fenómenos volcánicos: basta suponer que á conveniente profundidad existe una capa fluida de cualquier espesor, comprendida entre la corteza y el núcleo. Es, sí, muy probable, en nuestro concepto, que dicha capa exista por todas partes debajo de la corteza en cuestión y que no sea otra cosa sino la parte aún no enfriada y solidificada del globo primitivamente fluido. Poco importa que su espesor sea una fracción mayor ó menor del radio terrestre. La imposibilidad de explicar, recurriendo á reacciones químicas, el calor creciente de las capas, y con mayor motivo la temperatura tan elevada de las lavas, milita en favor de esta hipótesis. En cuanto á la explicación de la situación de los grupos volcánicos en las cercanías de las costas del Océano, repetimos que es muy sencilla. La figura 169 demuestra en escala amplificada cómo se han debido fracturar las capas de la corteza en los puntos de menor resistencia, allí donde, por efecto de los levantamientos y depresiones que han producido los mares por una parte, y los continentes y las cadenas de montañas por otra, el esfuerzo de la ruptura ha debido ser mayor. Las aguas marinas han filtrado por las grietas así producidas, se han puesto en contacto con las capas de temperatura elevada, se han vaporizado y han dado lugar á la ascensión de las lavas y á la formación de las chimeneas volcánicas. Los fenómenos subsiguientes han producido los conos, ya principales ó ya secundarios, y todas las circunstancias de las erupciones en sus fases sucesivas.

CAPÍTULO IV

LOS TERREMOTOS

I

FENÓMENOS GENERALES DE LOS TERREMOTOS

Si es indudable que los volcanes y cuantos fenómenos caracterizan las diferentes fases de su actividad, desde las erupciones propiamente dichas hasta las simples emanaciones gaseosas de sus fumarolas, tienen una misma causa, que es el calor interno del globo, parece difícil sostener que exista una conexión análoga entre este calor subterráneo y los terremotos. Por lo menos es necesario hacer desde luego una distinción entre los movimientos del suelo comprendidos bajo esta denominación, según que acompañen ó no á una erupción volcánica. Hemos visto en los capítulos anteriores que entre los fenómenos precursores de una erupción, y á veces durante ésta, y también poco después de haber terminado, se notan sacudidas más ó menos violentas del suelo en las inmediaciones del volcán del que parte la erupción. Pero este caso dista mucho de ser general, habiendo sucedido con frecuencia que aparece la actividad eruptiva sin que el suelo se haya agitado. De todos modos, los terremotos de esta primera categoría pueden considerarse como fenómenos volcánicos, y en este caso, no se puede poner en duda ni la causa ni la naturaleza de las conmociones. Pero los terremotos más numerosos, más violentos á la vez que más extendidos, parecen extraños á la actividad volcánica; nacen y se prapagan lo mismo en los terrenos estratificados que en las regiones de naturaleza volcánica, basáltica ó traquítica; no tienen ninguna relación aparente con la actividad eruptiva de los volcanes ni parecen ejercer influencia alguna en los volcanes vecinos. Sin embargo, el estudio de esta segunda categoría no puede separarse del de los terremotos de la primera, porque, aun cuando su origen continúe siendo desconocido ó problemático, es indudablemente subterráneo como el de los temblores de tierra volcánicos. Describamos ante todo sin distinción los fenómenos comunes á unos y á otros.

Lo que puede dar mejor idea de un temblor de tierra son las trepidaciones del suelo causadas por choques, explosiones violentas, derrumbamientos poco considerables de materiales, terrenos y rocas. El simple paso de un carro pesadamente cargado por un camino inmediato á un edificio, y sobre todo por el suelo de una calle empedrada, produce en las paredes y en los cristales un movimiento vibratorio muy perceptible que todo el mundo ha podido observar; pero el radio en que se siente esta conmoción, que se prolonga mientras pasa el carro, es por lo común muy limitado. Este radio aumenta en las ciudades, en donde es mayor la continuidad de los empedrados de las calles y su enlace con los cimientos de las casas. Cuando Ivón Villarceau sostenía ante la Academia de ciencias, hace quince años, la necesidad de trasladar el Observatorio de París fuera de la ciudad, uno de sus argumentos era la imposibilidad de obtener observaciones exactas del nadir. El baño de mercurio que servía de espejo para estas observacio-