

*Geysers*, las segundas *Fumarolas* y las últimas *Sulfataras* y *Mofetas*, según que los gases son sulfurosos ó de otra naturaleza. De éstos nos hemos ocupado al hablar de los volcanes, y nos falta referirnos á los geysers. En Islandia, en los Estados Unidos de América y en otras partes, se observan esas salidas intermitentes de aguas brotantes que llevan el nombre de geysers, cuya palabra quiere decir *violento* ó *impetuoso*: entre las sustancias que traen en disolución estas aguas es más frecuente el ácido silícico, así es que forman en los lugares donde aparecen grandes depósitos y revestimientos de siliza hidratada. El *Gran Geysir* de Islandia está situado en una planicie al pié del *Barnafell*; la siliza que contiene ha formado un cono de 10 metros de altura por 70 de diámetro en su base; en la cúspide existe un embudo de 3 metros de profundidad por 20 de diámetro, y se continua por el conducto interno. El agua superficial que llena el embudo tiene una temperatura que varía de 76° á 89° C., y en el canal, á 32 metros de profundidad llega á 125°.

Los geysers emiten de tiempo en tiempo vistosas columnas de agua y de vapores, cuya intermitencia es debida á que aumentando la temperatura del agua que llena el canal á causa de la presión que sobre ella ejerce la que cubre la abertura, llega un momento en que la tensión de la primera es igual al peso de la última; se convierte en vapor y arroja con fuerza á la masa que soportaba.

Geysir de San  
Andrés.

Como ejemplo de geysers en México, citarémos el que describe Saussure, y se encuentra en el cerro de San Andrés, Estado de Michoacan. Dice Saussure: que explorando la montaña referida, percibieron él y sus guías un ruido extraño en medio de un bosque, y dirigidos á ese lugar, quedaron pasmados con el espectáculo que se presentó á su vista. Delante de los observadores se levantaba una pendiente blanqueada, que parecia cubierta de porcelana; en la cima se halla un pozo de dos metros de diámetro, del cual se escapa con un silbido horrible un chorro de vapor que se eleva en el aire á una altura considerable; una oleada de agua hirviente se desborda de la abertura y se escurre por muchos caños hasta el fondo del valle, dejando revestimien-

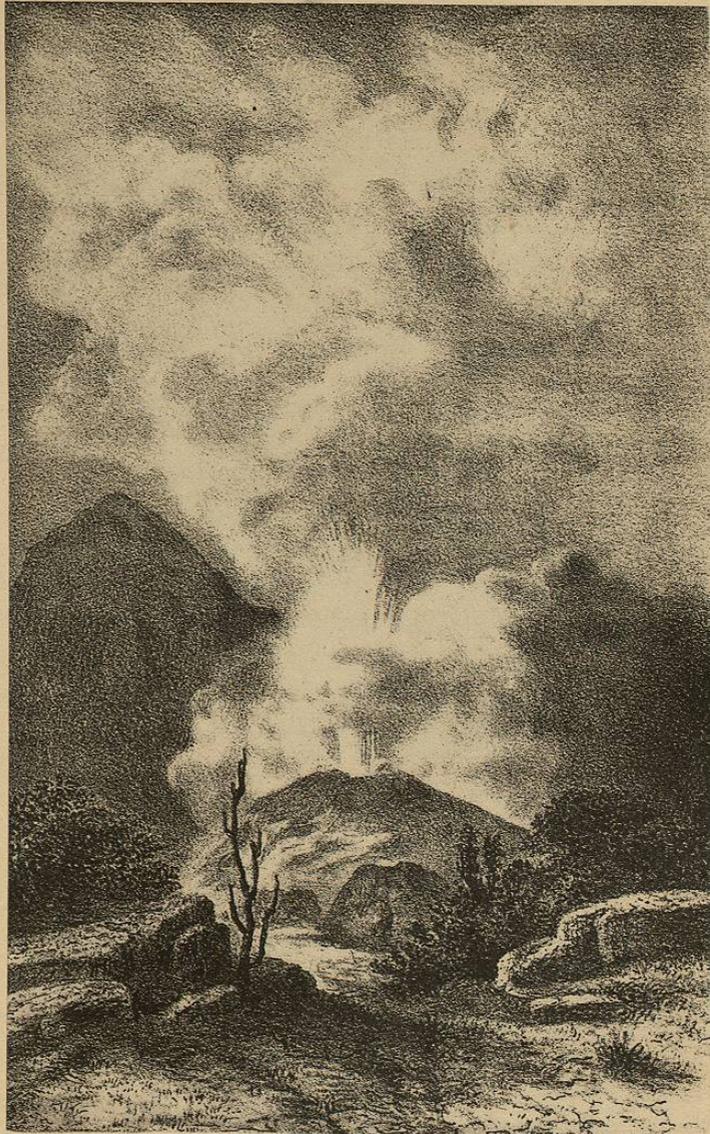


Photo E. Bernard et C'

71, rue Lacondamine.

## GEYSER DEL CERRO S. ANDRÉS

ESTADO DE MICHOACAN. — MÉXICO

tos de sílice, comparables á una cubierta de porcelana. En el mismo monte de San Andrés existen lagos de agua hirviendo, fumarolas y sulfataras. La lámina adjunta representa el geyser de San Andrés. A veces las aguas termales vienen cargadas de tierras, formando verdaderos lodos, y en algunos casos son éstos tan abundantes, que se llaman volcanes de lodo al lugar donde aparece el fenómeno.

Volcanes de lodo.

*Temblores de Tierra.* Las oscilaciones y vibraciones que se verifican sobre la superficie terrestre se designan con los nombres de temblores ó terremotos, aunque este último se reserva generalmente para los fenómenos de mayor intensidad y desastrosos efectos.

Temblores de tierra.

Estos movimientos que se experimentan en la superficie de la Tierra, son el resultado de un choque efectuado sobre cualquier punto de la corteza sólida, cuya elasticidad comunica en una ó diversas direcciones aquella conmoción. Debe advertirse que no todos los temblores son originados por el volcanismo, sino que puede haber otras causas que los produzcan, como derribamiento de rocas, etc.

Las formas del movimiento en la superficie son tres: la oscilatoria, la trepidatoria y la rotatoria que muchos consideran como un caso de la primera.

Tres formas de movimiento.

La primera forma un movimiento de vaiven por el cual la Tierra sufre, en zonas determinadas, elevaciones y depresiones; en la trepidación el movimiento de altura y depresión se verifica en dirección vertical; los temblores rotatorios tienen lugar cuando varias oscilaciones simultáneas se cruzan en varios sentidos.

Los resultados desastrosos que tales fenómenos producen, dependen de varias circunstancias, y se comprende desde luego que están relacionados á su intensidad, á la naturaleza y estructura de los terrenos y al género de movimiento, siendo en general más temibles los temblores trepidatorios y los de rotación. En las localidades en que las rocas son compactas y de estructura uniforme, los movimientos se propagan con facilidad y de un modo regular; el cambio en la estructura y naturaleza de las rocas puede debilitar ó aun detener las ondas vibratorias; los

Circunstancias que influyen en los resultados.

efectos más desastrosos de los terremotos se verifican donde hay formaciones de rocas sueltas, heterogéneas, y más aún, cuando un subsuelo de roca compacta está recubierto de aluviones. Efecto de este caso se observó en el pueblo de San Cristóbal en Jalisco, el 11 de Febrero de 1875, en que cayó casi toda la población. El caserío estaba situado en un terreno de aluvion, á orillas del rio Grande.

Modos de propagacion de los movimientos.

Temblores lineales, centrales y transversales.

Partiendo el movimiento de su punto de origen se puede propagar en una sola direccion, en cuyo caso se le llama *lineal*; si se extiende en varias direcciones, *central*, porque entónces las ondas se van dilatando ó propagando de un centro como las que se observan en el agua al caer una piedra. Cuando las ondas parten de una zona y se propagan como ondulaciones rectas, se les llama *transversales*.

Propagacion.

La extension en que un temblor puede propagarse es muy variable; en los temblores que asolaron al Estado de Jalisco en el año de 1875, hubo algunos que causaron notables estragos en San Cristóbal, en Guadalajara y otras poblaciones, sin que se sintiesen en Ameca, que sólo dista 18 leguas hácia el Occidente; miétras que el temblor oscilatorio del 9 de Marzo del mismo año se sintió en toda la extension del país, en una línea desde Veracruz hasta San Blas. Temblores ha habido, como el de 1<sup>o</sup> de Noviembre de 1755, que destruyó á Lisboa, que se extendió, segun Humboldt, en una superficie cuatro veces mayor que la de Europa entera.

Profundidad á que se encuentra el centro de movimiento.

Algunos observadores que, como Mallet, Oldham y otros, han tenido ocasion de estudiar el mayor número de circunstancias que concurren en un terremoto, opinan que el centro de movimiento ó su origen se encuentra á una profundidad relativamente corta, que segun el primer observador, no debe pasar de 48 kilómetros.

Seismómetros.

Seismología.

Las circunstancias principales de un temblor, como son su direccion, duracion, etc., se observan por medio de instrumentos llamados *Seismómetros*; á la ciencia que se ocupa del estudio de esos movimientos terrestres se le da el nombre de *Seismología*.

Algunos fenómenos, meteorológicos principalmente, han sido en algunas ocasiones predecesores ó acompañantes de los terremotos; como son el cielo aborregado, los vientos fuertes, la palidez del sol, las lluvias, etc.; pero hasta ahora no ha sido constante la relacion entre tales fenómenos y los seismológicos. Lo que sí se observa con más constancia son los ruidos subterráneos que preceden ó acompañan á muchos sacudimientos terrestres. Los trabajos que actualmente se verifican en muchos observatorios sobre las relaciones que pueden existir entre unos y otros fenómenos, podrán tal vez fijar algunas reglas para predecir los terremotos.

Fenómenos acompañantes de los terremotos.

Diversas hipótesis se han emitido para explicar los fenómenos seísmicos, entre las cuales citaremos las siguientes: Supónese por algunos físicos que las rocas incandescentes ó lavas que están en contacto con la costra terrestre, se precipitan en las oquedades que ésta contiene, y comprimen los gases y vapores produciendo la conmocion; el choque de la masa ígnea contra la corteza sólida puede ser el foco de movimiento que se propague á la superficie: en la masa ígnea podrán efectuarse mareas que causen los terremotos; las aguas subterráneas poniéndose en contacto con las rocas incandescentes, se vaporizan, causando detonaciones y movimientos; la contraccion que sufre la corteza terrestre por su enfriamiento que produce presiones laterales, plegamientos, etc., sobre la parte ígnea, resultando de estas acciones la conmocion; el derrumbamiento de rocas en las cavidades terrestres, principalmente por las erosiones de las aguas subterráneas; en fin, por la relacion que en muchas ocasiones se observa entre los fenómenos volcánicos y los seísmicos, se juzgan éstos como derivados de los primeros. Tambien creemos que pueden ser originados los temblores por erupciones que se verifican de unas á otras cavidades en el interior de la Tierra, sin que aparezcan los productos de la erupcion al exterior.

Causas de los temblores.

Estas teorías pueden dar la explicacion de los fenómenos en determinados casos. Si los temblores están relacionados al volcanismo, pueden muy bien ser originados por la accion del vapor de agua y por los choques y movimiento de las lavas; cuan-

do no sean de origen volcánico, las contracciones de la corteza terrestre y los derrumbamientos subterráneos son causas poderosas para producir vibraciones terrestres de grande intensidad.

Temblores marinos.

Los temblores no solamente afectan á la superficie de la Tierra, sino que tambien pueden hacerlo, y de un modo terrible, sobre las aguas del mar, sea que el centro del movimiento esté en el fondo del Océano ó en las costas: el fenómeno consiste principalmente en una retirada súbita de las aguas en las costas, y en su vuelta con una fuerza extraordinaria que la hace invadir las tierras y causar desastrosos efectos sobre los buques, las poblaciones, etc. El tiempo que transcurre entre ida y vuelta de esa formidable marea es por lo regular de 5 á 35 minutos, aunque se ha dado el caso de que retarde hasta 24 horas.

Duración de los temblores.

Un temblor puede consistir en una sola ó varias sacudidas; los impulsos son por lo general muy breves, y por tanto la duración de un fenómeno depende del número de impulsos que lo determinan. Felizmente el caso comun, es que los temblores sólo duren unos cuantos segundos; pero hay casos en que se prolongan de un modo extraordinario: dos, tres quince y aun más minutos. El temblor que se sintió en México el 19 de Julio de 1882, duró dos minutos y algunos segundos. Se comprende que no es necesaria una larga prolongación en el fenómeno para que cause desastrosos efectos; pues su intensidad puede ocasionarlos en breve tiempo; la ciudad de Caracas fué destruida en 1812 en 30 segundos solamente.

Frecuencia con que se presentan los temblores.

Puede ser grande la frecuencia con que los fenómenos sísmicos se produzcan. Credner cita que de 1850 á 1857, se tuvo noticia de 4,620 temblores en Europa.

En México los temblores son á veces frecuentes, y en otros casos han dejado largos intervalos de quietud en muchas localidades; en la actualidad puede decirse que el cuadrante S.E. del país es el más afectado por esos movimientos.

Temblores en México.

La acción sísmica en la década última, se ha ido acuartelando en determinados puntos y cambiándose á otros: en 1870 se fijó en la parte occidental del país, causando la erupción del Ce-

boruco y del Colima; en 1872 fué conmovida la área correspondiente á los volcanes de Aguafría y Ucareo en Michoacan: en Octubre hubo ruidos subterráneos y temblores en el Estado de Morelos; en Noviembre se escucharon manifestaciones análogas en Guanajuato, y en 1875 las fuerzas volcánicas se concentraron en San Cristóbal, Guadalajara y otros puntos de Jalisco donde hicieron sentir sus efectos durante varios meses. Después, entre los rumbos Oriente y Sur de la República se manifiesta con algunas intermitencias la acción sísmica.

Consultando las efemérides sísmicas que está publicando D. Juan Orozco y Berra, y revisando otros datos que se encuentran diseminados en varios libros, deducimos los hechos siguientes: Los temblores sentidos en el territorio mexicano fueron más frecuentes en Marzo y Abril, y ménos en los meses de invierno: en Marzo se ha sentido mayor número de temblores fuertes; las horas en que han tenido lugar mayor número de terremotos, son las nueve de la noche, y entre diez y once de la mañana, y diez y once de la noche. Estas leyes las hemos deducido de los datos relativos á los años comprendidos de 1581 á 1865.

Los efectos producidos por los temblores de Tierra son terribles en ciertas ocasiones. La destrucción de grandes ciudades, como Lisboa en 1755, la de Mendoza y otras poblaciones de la América del Sur. La pérdida de vidas es á veces espantosa á causa de un solo terremoto; en el Ecuador el año de 1868, murieron 40,000 personas por el temblor de 16 de Agosto; en Caracas perecieron 10,000 en unos cuantos instantes, en Marzo de 1812. Las rocas de las montañas se desprenden al impulso de un terremoto y pueden causar devastaciones, detener el curso de los ríos, cuyas aguas inundan grandes extensiones de terrenos; pueden formarse grietas en la superficie terrestre y dar nuevo curso á las aguas, y sepultar en muchas ocasiones todo lo que se encuentra en sus inmediaciones: algunos manantiales desaparecen á causa de un terremoto, y aparecen otros generalmente termales: en fin, los cambios de nivel son otros efectos geológicos muy importantes que á veces causan tambien los temblores de tierra.

Leyes de los temblores en México.

Efectos de los temblores.

Cambios de nivel.

Los cambios de nivel pueden ser instantáneos ó seculares: muchos de los primeros se han visto verificar á efecto de los terremotos. Los cambios pueden ser de elevacion ó de hundimiento, causados á veces por los temblores como hemos dicho, ó de un modo más general, por la accion del fuego interior de la Tierra: algunos hundimientos son debidos á acciones de las aguas, como veremos despues.

Ejemplos de elevacion.

La costa occidental de la América del Sur, puede decirse que es la region donde con más claridad se ven esos acontecimientos geológicos. En 1750 la costa de Chile sufrió una elevacion de 8 metros, acompañada de un terremoto: en 1835 la isla de Santa María fué levantada 2.06 metros hácia el extremo Sur, en una longitud de media milla, y hácia el centro la altura llegó á 3 metros. Las señales de la línea de costa que se observan en muchos puntos, tanto en América como en Europa, son pruebas de esos levantamientos, alcanzando alturas hasta cerca de 500 metros. Las costas escandinavas se encuentran actualmente en movimiento ascensional secular.

Hundimientos de terrenos.

Los casos de hundimientos no son todos derivados de fenómenos volcánicos, pues bien pueden proceder de erosiones de aguas subterráneas, de condensaciones de los materiales de las rocas y de otras varias causas. Los casos ó ejemplos de hundimientos en los tiempos históricos, pueden citarse como de los otros movimientos á que nos referimos: en Jamaica, en 1692, una region considerable se hundió en el mar: la costa del mar del Norte se halla en descenso secular. En la Geología histórica hemos interpretado grandes y frecuentes cambios de nivel, á cuyo efecto se han formado los continentes, y han tenido lugar diversas y variadas modificaciones en el aspecto de las tierras emergidas, en sus climas y en las faunas y floras que las han habitado.

Definicion.

§ IV. METAMORFISMO. Se designa con este nombre al cambio ó alteracion que las rocas experimentan, ya en su compacidad, dureza, textura, ó bien en su composicion química. Los principales agentes que ocasionan tales modificaciones son el calórico y el agua; el primero puede ser originado por acciones me-

Son agentes el calórico y el agua.  
Fuentes de calor.

cánicas, como las presiones, dislocaciones, pliegues y fracturas que sufren las rocas, ó más principalmente por la accion del fuego central sobre la superficie terrestre. Las reacciones químicas pueden tambien emplear su calórico en las acciones metamórficas.

Por efecto de esos agentes los materiales sueltos de algunas rocas pueden unirse en masas compactas y duras, ó entrar en nuevas combinaciones: así las areniscas pasan al estado de cuarcitas; las masas arcillosas á pizarras endurecidas, como se verifica en la fabricacion de ladrillos, ó los elementos que se encuentran en las rocas sedimentarias, pueden formar combinaciones para reconstituir las rocas primitivas que les dieron origen ó para formar otras distintas de aquellas. De este modo se podrán formar masas de granito, gneiss, mica-pizarra, mármol, etc., ó en las masas de rocas cristalizarán ó se formarán ciertos compuestos como granates, esmeraldas y otros silicatos.

A efecto del calor unas sustancias se deshidratan ó pierden otras sustancias volátiles como gases, ácidos, etc., siendo este último caso el que se verifica al trasformarse el carbon bituminoso en antracita.

Ejemplos tomados en pequeña escala ó consideraciones químicas podrán explicarnos las trasformaciones ó el metamorfismo de grandes masas de rocas.

El carbonato de cal sometido á la accion del calor, en circunstancias comunes se trasforma en cal cáustica; pero si al mismo tiempo que se calienta se somete á una fuerte presion, se le verá tomar la apariencia del mármol. En muchos yacimientos se ve que el carbonato de cal al contacto de rocas ígneas se halla igualmente trasformado en mármol. Vemos, pues, aquí un ejemplo de metamorfismo que nos enseñará el modo con que se han formado las grandes masas de caliza metamórfica.

El contacto de las masas ígneas produce tambien vitrificacion de algunas sustancias que están á su alcance; la cristalizacion, cocimiento y diversas alteraciones de otras: en las paredes de los hornos vemos muchos de esos efectos del fuego sobre las sustancias minerales.

Efectos del metamorfismo.

Ejemplos de metamorfismo.

Efectos por contacto.

Accion del  
agua.

Las aguas termales que acompañan á muchas rocas ígneas, ó las que alojadas entre los poros de las que han sido calentadas adquieren elevada temperatura, son agentes químicos de la más alta importancia en los fenómenos del metamorfismo, puesto que entónces adquieren en alto grado el poder disolvente. Desagregando y descomponiendo algunos compuestos y formando otros, esas aguas pueden transformar de un modo parcial ó completo las masas de roca, sobre todo si llevan en disolucion el gas carbónico; así podrán formar ó descomponer los feldspatos, las micas, las anfíbolos y otros silicatos de diversas bases para dar lugar á la formacion de diferentes rocas. El Profesor Daubrée, en su laboratorio ha logrado efectuar algunas de esas descomposiciones y trasformaciones bajo la accion del agua calentada á 300° R.: fragmentos de obsidiana puestos en contacto con esa agua son transformados en traquita granuda; el vidrio se reduce á una masa kaolínica en que aparecen cristales de cuarzo y agujas de wolastonia.

A la influencia de las aguas termo-minerales se debe la formacion de granates, vesubiana y otros silicatos que se encuentran en las calizas cristalinas.

En varias localidades mexicanas vemos los efectos de las aguas termales en muy crecida escala: muchos de nuestros pórfidos contienen incrustaciones de ópalo, cacholongas y hialita, que no son sino depósitos de aguas silizosas: los nódulos de óxido de hierro y de estaño que se encuentran en las masas de pórfido no pueden tener otro origen que el hidrotermal.

Accion de los  
gases.

Los gases sulfurosos, clorhídricos, etc., de los volcanes, son agentes poderosos en las descomposiciones y combinaciones que se operan en el metamorfismo; pero sobre todo el vapor de agua con alta presion contribuye en grande escala en tales efectos.

Metamorfismo  
regional ó  
local.

El metamorfismo puede ser regional ó local; es decir, abarcar grandes extensiones de terreno, ó circunscribirse á determinados espacios. Así, pueden verse dilatadas cadenas de montañas ó formaciones diversas afectadas por el metamorfismo, ó percibirse solamente sus efectos en el contacto de las masas ígneas, ó en muy cortas extensiones.

El metamorfismo es un efecto en que el geólogo debe fijar mucho su atencion, pues este efecto le dará en muchos casos la explicacion de fenómenos los más variados, y en muchas ocasiones de muy difícil interpretacion.

### CAPÍTULO III.

#### EL AGUA COMO FACTOR GEOLÓGICO.

Incesante y variada es la accion de este poderoso agente geológico; recorre un circuito maravilloso, y ejerce diversas acciones como un obrero infatigable, como un avaro que saca provecho aun de sus más insignificantes acciones.

Accion del  
agua.

Elevada el agua en las regiones atmosféricas al estado de vapor, puede provocar el rayo que hienda la roca: se condensa y cae bajo la forma de lluvia que desagrega las superficies de las rocas; forma torrentes, arroyos y poderosos rios que pulen la superficie terrestre; se labra canales, lechos, valles y barrancas; desprende los materiales pétreos, los pulveriza y distribuye para formar terrenos sedimentarios, ó los conduce hasta el Océano; se infiltra á través de las rocas y ejerce en ellas multitud de efectos químicos y mecánicos; acarrea los materiales que les quita; forma cavidades y mina los cimientos de las montañas hasta causar su ruina; se transforma en vapores poderosos allá en el interior de la Tierra, y contribuye de un modo tan influente en los fenómenos del volcanismo: además de ejercer sus variados efectos en el estado líquido y el gaseoso, se solidifican tambien las aguas, se aglomeran sobre las montañas, descienden por sus pendientes, puliendo las rocas ó llevando sus fragmentos para emplearlos como agentes de crosion; vuelven al mar despues de haber recorrido tan dilatado camino de actividad química ó me-

Diferentes mo-  
dos de accion.