

se hunde y se repliega por efecto de la contracción del núcleo interior causada por el enfriamiento. Admitiendo este modo de formación, no cabe ya la objeción que acabamos de formular.

Esto en cuanto á los terremotos volcánicos. Si es legítimo clasificar en distinta categoría todas las demás conmociones del suelo, no debe ya buscarse su causa ó sus causas en la acción de los vapores elásticos que se forman en las capas profundas del globo. Boussingault, que ha estudiado en particular la región de los Andes, con tanta frecuencia trastornada por los temblores de tierra, no cree que estas vibraciones del suelo tengan origen en la actividad de los volcanes que se hallan escalonados en tan gran número en los flancos de las Cordilleras. "En los Andés, dice el sabio académico, la oscilación del suelo ocasionada por la erupción de un volcán, es por decirlo así local, al paso que un terremoto que no tiene conexión con ninguna erupción volcánica, en la apariencia al menos, se propaga á increíbles distancias. En este caso se ha observado que las sacudidas seguían con preferencia la dirección de las cadenas de montañas, y que se sienten principalmente en los terrenos alpinos. La frecuencia de los movimientos en el suelo de los Andes y la poca coincidencia que se nota entre estos movimientos y las erupciones volcánicas, deben necesariamente hacer presumir que, *en la mayoría de los casos*, dimanen de una causa *independiente de los volcanes*.... Atribuyo la mayor parte de los terremotos en las Cordilleras de los Andes á derrumbamientos que ocurren en el interior de estas montañas á consecuencia de la acumulación que en ellas se efectúa y que es una consecuencia de su levantamiento. La inmensa mole que constituye estas Cordilleras gigantes no ha surgido en estado pastoso, sino que el levantamiento tuvo lugar después de la solidificación de las rocas. Admito, por consiguiente, que el relieve de los Andes se compone de fragmentos de todas dimensiones amontonados unos sobre otros. La consolidación de estos fragmentos no ha podido ser tan estable que no haya habido aglomeración después del levantamiento, y movimientos interiores en las masas fragmentarias."

Andando el tiempo, se ha generalizado esta teoría de las conmociones causadas por los hundimientos en el interior de las cavernas subterráneas, que M. Boussingault limita cuerdamente á los países que había estudiado en especial, y físicos tan notables como Hopkins y Volger han pensado que esta misma causa bastaba para explicar hasta los más extensos terremotos. El señor Cordenons, profesor en la universidad de Pavía, ha expuesto recientemente una teoría parecida. En su concepto, la corteza sólida que constituye las capas exteriores del globo, no descansa en todas partes sobre la superficie del mar de lava interior, sino que entre esta superficie y la bóveda hay grandes cavidades. Cuando una causa cualquiera, como explosión de gases que se desprenden entre las capas, agentes químicos que las corroen ó transforman, contracción lenta que propende á arrugar la corteza terrestre, etc., etc., hace que se desprendan grandes fragmentos sólidos de las capas más profundas, la ruptura de equilibrio que resulta de esta caída ocasiona una serie de sacudidas ondulatorias que se extienden á larga distancia, y de aquí los temblores de tierra. La caída de fragmentos más pequeños en espacios situados á menor profundidad, que, por decirlo así, forman cavernas laterales, produce terremotos, á las veces violentos, pero cuyos efectos son de limitada extensión. Tal es, por ejemplo, el caso de los terremotos de Ischia.

Al dar cuenta M. Daubrée de los fenómenos que acompañaron á la última sacudida sentida en Ischia, expuso también su parecer sobre las causas generales de los terremotos. Procuraremos dar un análisis de la teoría propuesta por tan eminente geólogo.

Empieza por hacer observar que las sacudidas seísmicas no ocurren al azar, ni mucho menos, en la superficie de la Tierra. Los países más tranquilos por este concepto, como Francia, Bélgica y una parte de Rusia, son precisamente aquellos cuyas capas han conservado su horizontalidad primitiva. Las conmociones violentas se sienten especialmente en las regiones que han sufrido grandes accidentes mecánicos y han adquirido en época reciente su relieve actual, hallándose en esta circunstancia Italia, Suiza y los Alpes.

Los contornos de las áreas trastornadas en los temblores de tierra de gran superficie tienen tal enlace con las líneas de dislocación preexistentes, que muchos geólogos, entre ellos Dana y A. Heim, consideran que estas sacudidas tienen un vínculo estrecho con la formación de las cadenas de montañas. Adviértense en todas las épocas geológicas los efectos gigantescos de las presiones laterales que han plegado y replegado las capas en espesores considerables y las han fracturado en todos sentidos. Estos movimientos del suelo continúan hoy, á pesar de la tranquilidad aparente de la superficie; en realidad no hay equilibrio en las capas del suelo, pues en unos lados se hunden y en otros se levantan gradualmente. "Compréndese, dice Daubrée, que unas acciones tan lentas después de dilataciones prolongadas, den margen á movimientos bruscos, como Elías de Beaumont lo suponía. Así se ve también en los experimentos que tienen por objeto imitar los replegamientos de las capas, en los que de las inflexiones graduales se pasa de pronto á fracturas y estallidos."

Admitiendo que la opinión que ha emitido Boussingault sobre los derrumbamientos interiores sea ciertamente plausible en algunos casos, con todo, M. Daubrée no cree que sea posible considerar estos movimientos como la causa general de los temblores de tierra.

A su juicio, esta causa general está en la enorme tensión que adquiere el vapor de agua cuando se forma á una temperatura tan elevada como la de las lavas. El agua que penetra á estas profundidades se vaporiza á una temperatura que seguramente pasa de 500° y que llega sin duda á 1.000° y aún más (temperatura de las lavas que salen á la superficie); además la vaporización tiene efecto en volumen bastante escaso para que la densidad del vapor sea muy poco menor que la de la misma agua. "En tales condiciones de calor excesivo, dice M. Daubrée, el vapor de agua adquiere una potencia de la cual no podrían dar idea las más terribles explosiones de calderas, si no se tuviera á la vista su resultado." Y en efecto, en los experimentos emprendidos por el sabio geólogo para estudiar la acción del agua sobrecalorada en la formación de silicatos, unos tubos de hierro de excelente calidad y de 11 milímetros de espesor estallaron varias veces, volando por el aire con un estruendo comparable al de un cañonazo. Sin embargo, la temperatura no pasaba de 450°, y bastaban unos cuantos centímetros de agua para producir tal efecto. Júzguese por esto de la fuerza explosiva que debe tener el vapor de agua cuando se forma en las profundidades de las capas del globo, á temperaturas mucho más altas y en condiciones de presión que le obligan á condensarse en reducido volumen.

Pero ¿cómo penetra el agua hasta esas profundidades? Por filtración, por las grietas que hay en las rocas, ó bien por penetración capilar de ciertas rocas porosas. "Obrando la simple acción de la capilaridad juntamente con la gravedad, obliga al agua á penetrar, á pesar de las fuertes contrapresiones interiores, desde las regiones superficiales y frías del globo hasta las regiones profundas y calientes, donde, en razón de la temperatura y de la presión que adquiere, se hace capaz de producir grandísimos efectos."

tos mecánicos y químicos. Supóngase que el agua penetra, ya directamente, ya después de una etapa, en una región en que permanece todavía líquida, hasta las masas en fusión, de modo que adquiere súbitamente una tensión enorme y una fuerza explosiva, y se tendrá la causa posible de verdaderas explosiones interiores y de choques bruscos causados por gases á alta presión.

„Si las cavidades, en lugar de formar un solo depósito, se dividen en muchas partes ó compartimientos distintos, no hay razón para que la tensión del vapor de agua sea la misma en estos diferentes depósitos, con tal que estén separados por paredes de rocas, y hasta la presión puede ser muy distinta en dos ó muchos de ellos. Admitido esto, si un exceso de presión rompe una pared de separación, ó si el calor la funde y la hace desaparecer, se pondrá en movimiento vapor á gran presión, y en presencia de las masas sólidas con las que tropezará, producirá el mismo efecto que si hubiese allí una formación brusca é instantánea de vapor, como se ha supuesto desde luego.”

M. Daubrée no admite la marcada separación que se ha hecho entre los terremotos de las regiones volcánicas propiamente dichas y los de los países que no tienen volcanes. Entre unos y otros hay temblores de tierra, los de Eifel por ejemplo, que pueden servir de lazos de unión entre ambos grupos.

Aun suponiendo que fuesen causas de los terremotos no volcánicos los movimientos interiores de las rocas, también deberían atribuirse, en su concepto, las sacudidas en cuestión al calor desarrollado mecánicamente y á la formación del vapor que de él resulta.

Además, para las regiones dislocadas en las que se notan continuas conmociones, existe otra causa que es mucho más probable: las cavidades internas y las grietas que indudablemente existen en las capas del suelo de estas regiones facilitan el acceso del agua hasta las profundidades de que, según un cálculo más ó menos aproximado, parten dichas conmociones. A 11, 27, 38 kilómetros, el aumento normal de la temperatura da un grado de calor más que suficiente para explicarse la vaporización del agua y su fuerza de explosión.

En resumen, el eminente geólogo ve en la tensión del vapor de agua interior sobrecaldeo y en los movimientos rápidos de los gases bruscamente desarrollados ó súbitamente dilatados la causa general probable de los terremotos. La potencia mecánica de que son capaces estos cuerpos gaseosos es de una energía tan extraordinaria que excede en mucho á cuanto podía imaginarse antes de haberse medido presiones superiores á 6.000 atmósferas.

Las explosiones de masas gaseosas sobrecaldeadas explican, mejor que las conmociones interiores de masas sólidas, las particularidades de los terremotos, “su régimen, su violencia, su sucesión frecuente, su renovación en las mismas regiones después de transcurrir muchos siglos, y explican también su predilección por las comarcas dislocadas, sobre todo si las dislocaciones son recientes, y su subordinación á las profundas fracturas de la corteza terrestre. Los terremotos parecen ser á modo de erupciones volcánicas ahogadas, en cuanto no encuentran salida, casi como lo suponía ya Dulong.”

Otros sabios contemporáneos, Fuchs por ejemplo, mantienen como esencial la distinción de las conmociones del suelo en terremotos volcánicos y no volcánicos. Mientras M. Daubrée asigna á todos una misma causa que se ejerce en condiciones diferentes y ve en ellos manifestaciones de una misma fuerza, ó sea el calor subterráneo del

globo, los sabios de que hablamos admiten para la segunda categoría de conmociones causas múltiples, pero simplemente mecánicas, como los hundimientos de las capas, sus movimientos en uno ú otro sentido, en una palabra, todos los cambios capaces de romper el equilibrio de las rocas que forman esas capas. Pero ¿de dónde proceden? De muy diversas circunstancias. He aquí, según Fuchs, las que parecen más importantes.

Tenemos ante todo la acción de las aguas filtradas que disuelven las rocas con las cuales están en contacto; estas aguas al salir en forma de manantiales á la superficie del suelo, llevan consigo todos los elementos solubles de las expresadas rocas y se forman vacíos entre las capas (caliza, yeso, sal marina), que atenuándose progresivamente, no tienen ya fuerza para soportar las capas superiores, resultando de aquí hundimientos ó derrumbamientos que pueden ocurrir bruscamente en una sola vez, ó en varias, dando así lugar á una conmoción, ó á sacudidas repetidas. Fuchs hace mención de los numerosos terremotos de las cercanías de Basilea, atribuyéndolos á las fuentes salinas del Rin superior, y los del valle del Ródano á los manantiales de igual clase del Valais y á las termas de Louèche.

Sin disolver los elementos de las rocas pueden ablandarlas, hacerlas pastosas y movedizas, y por consiguiente incapaces de resistir la presión de las rocas superiores. Así se explica, dice el autor que acabamos de citar, la coincidencia que se pretende haber observado entre las grandes lluvias y los terremotos. Como una de las causas que asimismo pueden dar lugar á hundimientos y sacudidas seísmicas, aduce igualmente las reacciones que pueden ocurrir en las profundidades de las capas. Por ejemplo, las transformaciones lentas que han producido la hulla, continúan todavía, sobre todo en las hulleras explotadas, porque la penetración del aire favorece la descomposición, y de aquí las frecuentes conmociones que se sienten en los distritos carboníferos. Otro tanto sucede en las comarcas que no lo son, cuando las capas internas contienen grandes proporciones de agua y de materias orgánicas: la primera se evapora poco á poco, y como las segundas desaparecen por efecto de la putrefacción, resultan de aquí inmediatos hundimientos del suelo. En general, todas las causas físicas capaces de producir en la corteza terrestre movimientos, derrumbamientos, dislocaciones, etc., ocasionan roturas de equilibrio, sacudidas más ó menos intensas y dilatadas, en una palabra, temblores de tierra.

Vese pues que, para explicar los movimientos seísmicos que no tienen conexión alguna con las erupciones volcánicas, hay dos teorías opuestas: la una, expuesta recientemente por Daubrée, atribuye estos fenómenos á la acción del vapor sobrecaldeo; la otra, generalizando la teoría propuesta por Boussingault para los terremotos de los Andes, los atribuye á causas puramente mecánicas. No nos incumbe decidir entre ambas teorías ni es este tampoco el lugar oportuno para discutir las. Diremos no obstante que, sin desconocer lo que haya de plausible en la última, sobre todo en lo que respecta á las conmociones locales, á las trepidaciones débiles y de poca extensión, nos parece por lo menos insuficiente para explicar los terremotos que abarcan una gran superficie de país ó cuya violencia es bastante intensa para asolar comarcas enteras. Estas conmociones que se propagan á enormes distancias no pueden tener origen sino á grandes profundidades debajo de la superficie del suelo, en puntos en donde, según todo lo que sabemos de la constitución física de la corteza terrestre, reina ciertamente una elevada temperatura, y en donde están reunidos todos los elementos, todas las condiciones de las explosiones más formidables.

En cuanto á las oscilaciones más débiles de la corteza terrestre, á esas especies de

estremecimientos del suelo que no son perceptibles sino con aparatos microscópicos, y cuya frecuencia es sin embargo tal que se ha podido decir que la corteza del globo está siempre agitada en alguno de sus puntos, ¿no se podría decir de ellas que son como manifestaciones acompasadas de esos movimientos de gran lentitud comprobados en diferentes regiones? O también, y según parece resultar de observaciones positivas, ¿no se pueden atribuir esos débiles balanceos á la acción de los movimientos atmosféricos, á las bruscas variaciones de presión que preceden ó acompañan á las grandes perturbaciones del aire? Cuando el barómetro sube ó baja rápidamente, resulta un repentino aumento ó disminución de peso de la envoltura fluida que debe traducirse en una oscilación, en un sentido ó en otro, de las capas elásticas del suelo sobre las que descansa la atmósfera. Pero únicamente á fuerza de observaciones continuadas se podrán dilucidar estas cuestiones dudosas todavía.

LIBRO TERCERO

LA CIRCULACIÓN OCEÁNICA Y ATMOSFÉRICA
LAS CORRIENTES MARINAS.—LOS VIENTOS

CAPÍTULO PRIMERO

LAS CORRIENTES MARINAS

I

LOS MOVIMIENTOS DEL MAR

Si la costra sólida de la Tierra, la parte más estable del globo, al menos entre las que nos son accesibles, oscila sin cesar; si además está sujeta accidentalmente á las perturbaciones que revelan las erupciones volcánicas y los terremotos, ¿qué no debe esperarse por este concepto de las partes fluidas, como el océano y la atmósfera? En éstas ya no hay estabilidad: la movilidad es la regla; la calma, la excepción. En virtud de las propiedades mecánicas y físicas de los líquidos y de los gases, las aguas del mar, lo propio que las capas del océano aéreo, se hallan en un estado de continua agitación. Múltiples son, como vamos á ver, las causas de estos movimientos intestinos; pero las más activas son las variaciones de calor emanadas de las sucesiones de los días, de las noches, de las estaciones en las diferentes latitudes y las variaciones de presión á que dan lugar. Podría verse aquí cierta analogía entre las perturbaciones que afectan á la corteza sólida y las que ocurren en el océano y en la atmósfera, puesto que unas y otras tienen el calor por origen. Sólo que estas dos clases de fenómenos presentan también un contraste, toda vez que en las erupciones y tempestades seísmicas es el calor interior el que está en juego, al paso que en los movimientos de la atmósfera y de los mares es el calor exterior ó solar.

Las roturas de equilibrio que ocurren en el seno de las masas líquidas ó gaseosas se dan á conocer con frecuencia bajo las formas más desordenadas en la apariencia; pero aun en tal caso estos fenómenos anormales están sujetos á ciertas leyes que se han descubierto gracias á observaciones multiplicadas, y cuyo conocimiento ha empezado á difundir gran luz sobre la economía meteorológica del planeta. En cuanto á los movimientos generales del aire y de las aguas, se efectúan con una regularidad que no tiene nada de sorprendente, si se reflexiona que esta regularidad procede de la renovación periódica de causas constantes, que producen naturalmente los mismos efectos en las mismas épocas y en los mismos lugares.