

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-

nes estaba constantemente agitado y su superficie retemblaba al paso de cualquier coche que circulara por el empedrado de la calle de Santiago. El radio de la conmoción es mayor cuando tiene por causa la explosión de un barreno. Cuando hace algunos años voló el polvorín de Bouchet (Sena y Oise) percibimos el ruido de la detonación á más de 20 kilómetros de distancia, y las paredes, las puertas y las ventanas de nuestra casa experimentaron una violenta sacudida; bien es verdad que entonces la conmoción sufrida debía ser causada por el paso de la onda aérea, pero una parte procedía sin duda alguna de la vibración del mismo suelo.

Sin embargo, estas conmociones artificiales, cuyo origen se conoce perfectamente y que proceden de un choque mecánico ó físico, accidental ó exterior, no son temblores de tierra, de suerte que, según lo hace observar Fuchs con razón, tan luego como se llega á conocer la causa precisa de uno de estos terremotos artificiales, su denominación misma desaparece. El verdadero terremoto es aquel cuya causa desconocida es subterránea, ó cuyo origen está evidentemente enlazado con la erupción de un volcán.

El grado de intensidad, el número de las sacudidas, su dirección, su duración individual ó colectiva, la extensión de la región en que se sienten, el modo de su propagación son otros tantos elementos del fenómeno que importa consignar, y que por otra parte son á propósito para distinguir los terremotos entre sí.

Su intensidad es débil con frecuencia: son simples estremecimientos, leves agitaciones del suelo que pasan desapercibidas de la mayor parte del público y que tan sólo notan los observadores atentos. Lo que permite distinguir estos temblores de tierra insignificantes de las vibraciones artificiales con las que se los podría confundir es la gran superficie de país que abarcan; como la comparación de las horas en que ha ocurrido la sacudida en todos los puntos de la superficie demuestra con evidencia la simultaneidad de las observaciones, es imposible equivocarse. Entre estos estremecimientos imperceptibles y las violentas sacudidas de los terremotos más famosos por los desastres que han causado, se puede pasar por muchísimos grados. Cuando el terremoto del 14 de septiembre de 1866 que tuvo por teatro una buena parte de la Francia central y occidental, las dos ó tres sacudidas que se sintieron con algunos segundos de intervalo fueron más fuertes en el centro de la región conmovida, en las cercanías de Tours y Blois. Muebles derribados, ventanas rotas, paredes cuarteadas, algunas piedras desprendidas de las partes más altas de éstas, tales fueron los efectos de estas sacudidas allí donde su intensidad fué mayor, pero en otros muchos puntos todo se redujo á ligeras oscilaciones de los objetos movedizos. Ya no era el simple estremecimiento de que acabamos de hablar. Sin embargo, de esto á los terribles efectos de algunos temblores de tierra famosos en la historia, de los que más adelante hablaremos, hay mucha distancia. Limitémonos ahora á citar algunos casos que permitirán la comparación y harán juzgar de la extraordinaria violencia de algunas sacudidas.

Cuando el terremoto de Riobamba ocurrido el 4 de febrero de 1799, hubo una sacudida vertical tan violenta, que, según la expresión de Humboldt, "produjo el efecto de la explosión de un barreno; los cadáveres de un gran número de habitantes fueron á parar más allá del riachuelo de Licán, hasta el Calca, colina de muchos centenares de pies de altura... Cuando hice el plano de las ruinas de Riobamba, me enseñaron entre los escombros de una casa el sitio en donde se habían encontrado todos los muebles de otra; habiendo sido preciso que la audiencia dirimiese las cuestiones suscitadas acerca de la propiedad de unos objetos que, de tal modo habían sido transportados á muchos centenares de metros de distancia... El terremoto que en 1783 asoló la Calabria fué

tan violento que muchas casas fueron lanzadas en peso á larga distancia sin haber sufrido gran detrimento, al paso que otras, arrojadas al aire, se deshicieron completamente. La Jamaica experimentó en 1692 tales sacudidas que en la ciudad de Port-Royal todo se derrumbó confusamente; muchos hombres fueron derribados por ellas y lanzados de un lado á otro y no pocos fueron despedidos directamente al aire. Dióse el caso de que algunos que se encontraban en medio de la ciudad fueron arrojados por encima de las ruinas hasta el puerto y entonces pudieron salvarse á nado. Estos hechos, antiguos ya, parecerían increíbles ó grandemente exagerados si no atestiguaran su mucha probabilidad otras catástrofes recientes y terribles.

El número de las sacudidas es también variable en alto grado. Si media entre ellas un espacio de tiempo bastante largo, cada una puede considerarse como un terremoto. Obsérvanse con frecuencia dos ó tres sacudidas separadas por cortos intervalos, de algunos segundos ó de pocos minutos; pero en las regiones en que las conmociones del suelo son casi continuas, como en ciertos puntos de la vertiente de los Andes en la América meridional, las sacudidas, ó mejor dicho, los estremecimientos son tan numerosos y tan inofensivos al propio tiempo, que las más de las veces nadie hace caso de ellos. Así es que se distingue estos *temblores* de los *terremotos*, que son mucho más peligrosos (1). Cuando se trata de conmociones del suelo enlazadas con una erupción volcánica, ya la precedan, ya sean como sus precursores, ora la acompañen ó bien la sigan, lo cual es más raro, las sacudidas se suceden por espacio de un tiempo que puede ser muy largo, y su número es entonces ilimitado como el de las explosiones del cráter. "Después del gran terremoto de Nápoles (16 de julio de 1805), dice Humboldt, y después de la erupción de lavas que le siguió á los diez y siete días, sentado yo de noche en el cráter del Vesubio y al pie de un pequeño cono de erupción con un cronómetro en la mano, sentí cada veinte ó veinticinco minutos, con toda regularidad, una conmoción en el suelo del cráter, inmediatamente antes de cada expulsión de escorias incandescentes... No siempre van acompañadas las erupciones volcánicas de esta clase de sacudidas. Por ejemplo, cuando la erupción del volcán de Sangai en diciembre de 1847, M. Wise, de cuyas observaciones hemos hablado ya, no percibió ninguna sacudida del suelo, por más que se acercó á 300 metros de la cúspide y del cráter. Ya hemos visto que había contado hasta 267 erupciones de escorias en una hora.

La duración de las sacudidas suele ser muy corta, y cuando el choque es uno solo, no llega ó rara vez pasa de un segundo. Las oscilaciones irregulares, compuestas de muchas sacudidas ú ondulaciones en varios sentidos, son de mayor duración, de medio minuto, á veces de uno ó dos, y casi nunca de más. Este tiempo, que parece corto cuando se lee tranquilamente el relato de una de estas catástrofes, es horrorosamente largo para los testigos ó las víctimas de ella. No debe confundirse la duración de una sacudida y de las ondulaciones que son su consecuencia con la del terremoto mismo, aun cuando es muy difícil definir claramente el límite de tiempo que se debe asignar al fenómeno. En enero de 1839 hubo en la Martinica un terremoto que sólo comprendió dos sacudidas y no duró más que medio minuto, pero este breve intervalo bastó para que ocurrieran formidables estragos. Las mismas sacudidas se propagaron hasta el Perú, y en Lima las vibraciones del suelo duraron en total dos minutos enteros. En

(1) Hablando Humboldt de estos países dice que en ciertas épocas sus habitantes no cuentan ya las sacudidas subterráneas, como en Europa no nos cuidamos de contar los aguaceros; cierto día, Bonpland y él tuvieron que apearse en medio de un bosque á causa del azoramiento de sus cabalgaduras, porque la tierra había temblado por espacio de quince ó diez y ocho minutos.

1845 un terremoto que se sintió desde las Antillas hasta la Guayana, duró menos de *medio minuto* en Santa Cruz, y *un minuto y tres cuartos* en la Dominica, donde observaba C. Sainte-Claire Deville. El del 13 de agosto de 1868, cuyo centro de conmoción estaba próximo á Arequipa, tuvo una primera sacudida que duró unos siete minutos: durante este intervalo, uno de los más largos que se han notado para una sola sacudida, quedaron enteramente destruidas las ciudades de Arequipa, Tacna y todas las localidades comprendidas entre ellas (1). El 22 de octubre del mismo año, San Francisco experimentó muchas sacudidas, entre las cuales mediaron unos tres cuartos de hora. La más fuerte, que fué la primera, consistió en muchos choques violentos de cuarenta segundos de duración, y de éstos, de ocho á diez segundos para el instante de mayor intensidad. En noviembre de 1867 la isla de Santo Tomás sufrió violentas sacudidas que duraron cosa de medio minuto, pero el temblor de tierra continuó aún otros diez.

Esta diferencia entre la duración de las sacudidas ú oscilaciones individuales y la del temblor de tierra considerado como un fenómeno colectivo, se observa en gran número de ejemplos históricos; verbigracia, el famoso y horrible terremoto que arruinó á Lisboa en 1755 empezó por un choque espantoso seguido á los pocos segundos de otra y otra sacudida; menos de cinco minutos bastaron para que el fenómeno consumara su obra destructora. El terremoto ocurrió el 1.º de noviembre, pero las conmociones del suelo continuaron todo el mes, y el 9 de diciembre sintióse otra sacudida casi tan violenta como la primera. Cuando el terremoto de Java del 5 de enero de 1699, hubo nada menos que 208 terribles sacudidas. Durante el del 28 de octubre de 1746, que arruinó á Lima y otras muchas poblaciones peruanas, se contaron también 200 sacudidas, todas en el mismo día. En Tacna hubo 180 desde el 13 al 17 de agosto de 1868. El terremoto que asoló la Calabria en 1783, no cesó por decirlo así en todo un año; de vez en cuando ocurrían sacudidas aisladas, separadas por estremecimientos continuos; sin embargo, las primeras eran más fuertes, y poco á poco disminuyeron de intensidad al paso que aumentaban los intervalos de reposo.

Así, pues, desde el punto de vista de la duración se puede distinguir en los terremotos: la de cada sacudida ú oscilación, que por lo común es muy corta, y luego la de las sacudidas reunidas que constituyen el fenómeno en su conjunto. Por último, el período de agitación puede prolongarse en un mismo punto, durar meses y hasta años enteros, pero con una continuidad bastante variable. Considerada la cuestión por este último concepto, se encuentra enlazada con la de la frecuencia de los terremotos en una misma región del globo, y por consiguiente con la de su distribución geográfica. Más adelante diremos algunas palabras acerca de esto, y también nos ocuparemos de un punto de gran interés, cual es el de la naturaleza de los movimientos que constituyen los temblores de tierra, sacudidas, trepidaciones y oscilaciones. Aquí nos limitaremos á decir que se acostumbra distinguir las sacudidas de las oscilaciones ú ondulaciones. Las sacudidas ó *movimientos de sucusión*, según la expresión empleada por Fuchs, son las conmociones del suelo, "que se sienten como un choque perpendicular dado de abajo arriba. Cuando este movimiento es muy fuerte, se cree notar un empuje de elevación, y luego un movimiento de hundimiento del suelo.", Estas sacudidas verticales son las más violentas y temibles de todas, y las que indican, con relación al sitio en

(1) Más adelante veremos que el hilero de corrientes que siguió á las sacudidas contribuyó tanto ó más que ellas á los desastres causados por este terremoto. Lo propio aconteció con el de 9 de mayo de 1877, y con la mayor parte de los que, en distintas épocas, han devastado la región de los Andes.

que ocurren, que allí está el centro de conmoción ó que dista muy poco de él. Propáganse desde allí, pero transformándose poco á poco en oscilaciones más ó menos regulares á medida que se alejan de dicho centro. En ciertos terremotos no hay, ó por lo menos no se conocen, puntos en que haya habido movimiento de sucusión, y todo cuanto en este caso puede hacerse es distinguir, entre las regiones que han sufrido la conmoción, las que han experimentado las ondulaciones más fuertes de las que las han sentido más débiles; las primeras son las más inmediatas al punto de partida ó al centro del movimiento.

Según su origen, los terremotos se sienten en una dilatada extensión de país ó sólo tienen, por el contrario, una esfera de acción ó de extensión muy limitada. En este último caso se hallan por lo general los terremotos de origen volcánico. Ya hemos citado el caso (n. de la pág. 333) de las violentas sacudidas observadas en el costado Nordeste del Etna, en enero de 1865, en tanto que pasaban desapercibidas en Catania, es decir, á pocos kilómetros de allí. Las conmociones notadas en julio de 1805 por Humboldt en el suelo del cráter del Vesubio, aunque ligeras y debidas á las salidas de escorias, según hemos dicho poco ha, "no se percibían absolutamente nada fuera del cráter, ni en el Atrio del Caballo ni en la ermita del Salvatore.", Cuando se trata de las grandes sacudidas que preceden ó acompañan á una erupción en su mayor paroxismo, la superficie del país en que se sienten se extiende á la par de su violencia. Así, por ejemplo, las sacudidas producidas por la erupción del Krakatoa ocasionaron, en el estrecho de la Sonda y en el territorio de Java y Sumatra, vibraciones de las que hemos hablado al tratar de las grandes erupciones volcánicas, y cuyo radio excedía de 150 kilómetros. Pero los terremotos que se propagan ó se extienden á mayores superficies son aquellos cuyo origen parece extraño á toda actividad volcánica, y aun cuando los más formidables suelen ser los que alcanzan mayor radio, con todo, no puede decirse que la extensión de la conmoción sea proporcional á su violencia, á veces se notan débiles sacudidas á considerables distancias. Presentemos algunos ejemplos de estos diferentes casos.

Uno de los terremotos que á juzgar por los relatos contemporáneos, quizás un tanto exagerados, se han notado á mayor distancia, es el de Lisboa en 1755. Las sacudidas se propagaron por un espacio de más de treinta millones de kilómetros cuadrados, esto es, unas cuatro veces la superficie de Europa (1). Los terremotos que causan tan frecuentes estragos en la costa occidental de la América meridional, se extienden sobre todo de Norte á Sur, en dirección de la cordillera de los Andes. El ocurrido en Chile en noviembre de 1822, se propagó así en una línea de 9.000 kilómetros. Cinco años después, en noviembre de 1827, un terremoto cuyo centro de conmoción estaba cerca de Bogotá, llegó hasta Popayán, á 1.480 kilómetros. Según Otto Volger, el área de conmoción que tuvo por centro principal en 1855 el valle de Viego, ocupaba 282.000 kilómetros cuadrados; la del temblor de tierra de septiembre de 1866 llegaba á unos 200.000. El de octubre de 1868 sacudió el suelo de California

(1) Al discutir los documentos contemporáneos, se ha reducido mucho la extensión de la región trastornada por el terremoto de 1755, pues de ello resulta que no pasó de tres millones de kilómetros cuadrados. Pero si se entiende por región trastornada el conjunto de los puntos en que la sacudida se propagó directa ó indirectamente, quizás no sea exagerado el primer cálculo. En efecto, el hilero de corrientes se sintió en Europa hasta el Norte de las islas Británicas, Dinamarca y Noruega, y al Oeste, allende el Atlántico, en la Barbada y en la Martinica, en donde la pleamar, que por lo común no pasa de 0<sup>m</sup>,75, se elevó entonces á cinco ó seis metros.