

INTRODUCCION A LA HISTORIA DE LOS TERREMOTOS COLOMBIANOS

JESUS E. RAMIREZ, S. J.

«Siendo la historia un lienzo, en que se pintan, para eterna memoria, los sucesos, es en el Historiador la mayor de las faltas el tirar en el dibujo alguna línea, que no siga muy ajustada el perfil de la verdad». Joseph Cassani. (Prólogo a la Historia de la Provincia de la Compañía de Jesús del Nuevo Reino de Granada en la América).

El conocimiento de la sismicidad de un país empieza por su historia. Esta que aquí se ofrece y que tiene a Colombia como teatro y testigo, intenta compilar la información más precisa acerca de sus terremotos, localizar sus epicentros sobre el mapa, procurar determinar los puntos débiles de la corteza andina, mostrar las regiones en donde los temblores pueden repetirse y apreciar su probable intensidad y frecuencia.

El estudio y publicación de catástrofes sísmicas arrancadas de las páginas de nuestra historia nacional es justo que sirva también para promover la investigación científica de los mismos y sus causas, para llamar la atención de los ingenieros, arquitectos, contratistas, compañías de seguros y propietarios de edificios sobre las condiciones que deben reunir sus construcciones para proteger al ciudadano, para demostrar lo práctico y económico que es construir edificios resistentes a los movimientos terráqueos y para informar al público que los terremotos son peligrosos precisamente porque no tomamos medidas contra ellos.

Por otra parte es de esperar que el fiel recuento de los hechos sirva también para destruir dos actitudes mentales poco correctas: la de los que aceptan el fenómeno de la conmoción natural de la tierra y sus consecuencias con un espíritu de fatalismo propio de los antiguos paganos, y la de los

que quieren olvidarse de la posibilidad de que se repitan estas catástrofes, lo que sería poco prudente en una región sísmica. Hay que saber enfrentarse al problema y buscar una solución que permita que el terremoto suceda con el mínimo daño y con el menor número de pérdidas de vidas posibles.

En Colombia, como en el resto de las Américas, el peligro ha crecido, no tanto por la intensificación de la actividad sísmica del globo que ha sido prácticamente la misma a todo lo largo de los tiempos históricos, cuanto por el aumento de la densidad de la población, por el crecimiento de nuestras ciudades y aldeas en tamaño y en número, y por la multitud y complejidad de las estructuras modernas incluyendo las subterráneas y las grandes represas.

QUE ES UN SISMO EN EL LENGUAJE POPULAR Y ERUDITO

Un terremoto en el lenguaje popular y común de las gentes es algo tremendo, como un violento «columpiarse de la tierra hacia los lados», como un «ladearse a la izquierda o a la derecha», es como un «linaje de brincos, columpios y roturas» de la tierra que no dejan al hombre en pie; es un «sorberse los ríos y lagunas viejas y vomitar sobre la tierra otras nuevas»; es «arrancar de un sitio un monte entero y sepultar una ciudad y descubrir otras que antes se habían sorbido»; es «la caída de los grandes edificios que arrastran tras sí la ruina de los pequeños»; es un «tangoneo de la tierra acompañado de bramidos y murmullos continuados como estruendos de armas»; es un «huír sin tino de hombres y animales dejando sus moradas aturridos de la novedad, sin saber dónde parar ni a dónde seguir»; es un desastre iluminado por el resplandor de los incendios o de «montes ignívomos, arrojando globos de llamas»; es un levantarse de nubes de polvo que «envuelven edificios, que crujen al caer y que acallan los gritos y gemidos de las víctimas». Esto es en tierra firme, porque en el mar los navegantes también lo sienten y «conjeturan estos movimientos porque las olas se hinchan y dan fuertes embates y golpes, sin haber viento ni aire extenso que las agite»; es también un «mecerse y ladearse la mercancía»; es como una «tempestad subterránea con estallidos semejantes a los del rayo»; y cerca de las costas es un impacto de ondas gigantes que a veces avanzan kilómetros sobre tierra y destruyen embarcaciones y

facilidades portuarias. En una palabra, un terremoto significa pérdidas de vidas y de bienes materiales y tal cual vez es una catástrofe nacional.

En el lenguaje científico todo movimiento telúrico es sencillamente un desprendimiento de energía producido por una perturbación transitoria del equilibrio elástico de las rocas de la corteza terrestre, es un escape natural de energía potencial irradiada en forma de vibraciones elásticas que hacen vibrar bruscamente algunos kilómetros cuadrados del territorio.

Al someterse las rocas de la corteza a tremendos esfuerzos, llega un momento en que se sobrepasan los límites de la elasticidad y se originan roturas y fallas generadoras de ondas elásticas que son el temblor de tierra.

Dos elementos constitutivos suelen distinguirse: la súbita rotura de equilibrio de las rocas o sacudida brusca y la vibración producida por tal sacudida que se transmite y propaga por las rocas cuasi-elásticas de la tierra. En una campana el golpe del badajo es la sacudida, la vibración del bronce son las ondas elásticas que se trasmiten por la tierra.

Cerca del punto de origen de esa perturbación se producen dos clases de ondas de corto período, notable amplitud y poderosas para toda clase de destrucción; a medida que avanzan, esas ondas disminuyen en amplitud y alargan su período perdiendo así su poder destructor.

Así que las ondas sísmicas son fatídicas mensajeras que a unos lugares llevan la destrucción y el espanto y a otros más lejanos la noticia de la catástrofe por medio de la inscripción que deja en los sismogramas de las estaciones sismológicas.

EL SISMO Y LA FABULA

El terremoto ha sido un viejo achaque de nuestro planeta, por lo menos desde que éste empezó a solidificarse en su vida a través del espacio. Cuando la raza humana apareció sobre la tierra, estos fenómenos la preocuparon profundamente. Las antiguas civilizaciones crecieron y se desarrollaron en regiones sujetas a sismos y estos desempeñaron un papel muy importante en la historia de la humanidad. Las frecuentes alusiones a ellos en la historia así lo demuestran.

De las siete maravillas del mundo antiguo, dos de ellas, el Coloso de Rodas el año 225 después de Cristo y el Faro de Alejandría hacia el año 800 fueron destruidas por terremotos.

La leyenda helénica nos habla de Atlas, soportando el mundo en sus hombros, tambaleándose a veces bajo el peso de la enorme mole. Los guapuyés, primitivos habitantes de las márgenes del Ariari, según el Padre Aguado, «dicen proceder este temblor, de que el dios que ellos imaginan se echa a dormir en su cama, y como es tan grande y tan pesado con el golpe que da al tiempo que va a acostarse hace temblar la tierra» (1).

Cuando las ficciones de las fábulas dejaron de satisfacer la curiosidad humana, buscaron los sabios teorías sobre las causas de estas conmociones telúricas, que corresponden a la imaginación de cada pueblo y a los conocimientos de cada época.

LOS GRANDES MAESTROS

Aristóteles y Séneca, que por haber sido considerados los grandes maestros de los siglos pasados, vamos a citar textualmente, nos dieron explicaciones más o menos gratuitas del fenómeno:

El primero en su «*Meteorologicorum*» Libro II, capítulo VIII (2), nos afirma que no es el fuego ni el agua ni la tierra, la causa de los terremotos sino el aire con sus vapores y exhalaciones especialmente en las tierras cavernosas. Dice: «Hemos de considerar luego cuál es el cuerpo que tiene más fuerza para mover y éste será principalmente el que es más apto para avanzar a mayor distancia y con mayor ímpetu. Necesariamente tendrá más ímpetu el que se mueve con más rapidez, puesto que su velocidad golpea con más violencia; y puede avanzar a mayor distancia, el que puede atravesarlo todo y éste será el que es más sutil: si el vapor es así por naturaleza, él será, de los cuerpos todos, el que mayor fuerza tiene para mover; porque el fuego cuando se une al aire forma la llama y se desprende con más rapidez; por consiguiente ni el agua,

(1) Aguado, Pedro de, *Historia de la Provincia de Santa Marta y Nuevo Reino de Granada*. Tall. Espasa-Calpe, S. A. 1930. T. II. cap. VI. pág. 158.

(2) Aristóteles: *Opera Omnia*. Parisiis, Edit. Ambrosio Fermin Didot, 1854. Lib. II, Cap. VIII. pág. 591.

ni la tierra son causas del terremoto, sino el vapor, que cuando le acontece ser exhalado, fluye hacia adentro» (3).

Séneca es más explícito y detallado: «Yo quiero decir, lo que, según mi opinión, debe pasar en estas catástrofes.

«Cuando el aire, engolfado en una vasta cavidad de la tierra que llena, comienza a agitarse y a buscar una salida, golpea repetidas veces las paredes que lo contienen, encima de las cuales algunas veces las ciudades tienen asiento. A veces las sacudidas son tales que los edificios se derrumban, y otras con movimientos más fuertes, esas mismas paredes que soportan la inmensa bóveda se vienen abajo y con ellas se sepultan villas enteras en profundidades desconocidas» (4). Poco antes había dicho: «La causa de los terremotos es por tanto el aire, naturalmente rápido y móvil. Mientras éste no recibe ningún impulso, y queda descansando en su espacio libre, él reposa inofensivo y no atormenta a lo que circunda. Pero en cuanto un motor accidental lo turba, lo empuja, lo comprime, él no hace más que ceder y vagar al azar. Pero si se le corta todo medio de escape, y si todo le sirve de obstáculo, entonces, él rompe los montes con fragor y muge furioso en sus negras prisiones, que largo tiempo hace vibrar y termina por romperlas y hacerlas volar en pedazos, tanto más terrible cuanto la resistencia es más fuerte y la lucha más prolongada» (5).

(3) Si igitur hoc habere se aliter nequit, post hæc considerandum erit, quodnam corpus maximam movendi vim habet: id enim, quod longissime progredi aptum et vehementissimum est, potissimum tale sit, necesse est. Ac vehementissimum quidem necessario est, quod celerrime fertur. quippe quod ob celeritatem maxime percutit; longissime autem progredi id aptum est, quod omnia pertransire maxime potest, acque hoc est, quod tenuissimum: itaque si spiritus natura ejusmodi est, maxime omnium corporum spiritus vim movendi habebit: nam et ignis quando cum spiritu fuerit, flamma fit et celeriter rapitur. Non igitur aqua, aut terra motus erit causa, sed spiritus, quando eum, qui extra exhalatur, intro fluere contigerit.

(4) Quod iam dicam, quemadmodum existimem fieri. Cum spiritus magnum et vacuum terrarum locum penitus opplevit, cœpitque rixari, et de exitu cogitare, latera ipsa intra quæ latet, sæpius percutit, supra quæ urbes interdum sitæ sunt; hæc nonnumquam adeo concutuntur ut ædificia superposita procumbant; nonnumquam in tantum, ut parietes quibus fertur omne tegimen cavi, decendant in illum subtervacantem locum, totæque urbes in immensam altitudinem vergant.

(5) Maxima ergo causa est, propter quam terra moveatur, spiritus natura citus, et locum e loco mutans. Hic quandiu non impellitur, et in vacanti spatio latet, jecet innoxius, nec circumjectis molestus est. Ubi illum extrinsecus superveniens causa sollicitat, compellitque et in arctum agit. scilicet adhuc cedit tantum, et vagatur. Ubi erepta discedendi facultas est, et undique obsistitur tunc...

magno cum murmure montis,

circum claustra fremit...

quæ diu pulsata convellit ac jactat; eo acrior, quo cum valentiore mora luctatus est.

Séneca. *Oeuvres Complètes de Sénèque le philosophe*. J. J. Dubochet et Cie. Ed., 1944. Lib. Vi. Pars XXV, pg. 495. Cap. Vi. N° XVIII, pg. 492.

Opiniones como éstas no tuvieron rival ni comprobación y se reprodujeron tan solo como nuevas en el curso de los tiempos.

Ya en el siglo XIX principalmente aparecieron explicaciones diversas y fantásticas. Abundaron las leyes empíricas basadas muchas veces en hechos locales, cuando no eran fruto de la fantasía; se establecieron relaciones entre los temblores y los más distanciados fenómenos, como la rotación de la tierra, los días y las noches, el sucederse de las estaciones, los cambios barométricos bruscos, el movimiento de la tierra alrededor del sol, las distancias a la luna en los tiempos del apogeo y perigeo, los movimientos de las estrellas fugaces, los cometas.

Se dió más o menos importancia a la fuerza centrífuga y centrípeta, a las tracciones del sol y principalmente de la luna, se renovaron las hipótesis magnéticas y eléctricas, que estuvieron de moda como cuando se llegaron a proponer como medios de defensa los «paraterremotos». En fin se habló hasta de las manchas del sol, sin que ninguno pudiera explicar cómo podían ejercer las manchas solares influencia sobre la corteza terrestre.

El progreso moderno de la sismología ha hecho justicia a las causas más probables y ha arrinconado teorías falsas.

Los científicos modernos que estudian los fenómenos celestes ven en ellos tan solo una fuerza adicional secundaria, de presión atmosférica, de atracción gravitacional que puede servir como fuerza de gatillo (Trigger Forces) capaz de poner en libertad la energía que produce el temblor ya que ella por si sola no la tiene.

DOS TEORIAS EN COLOMBIA

No es posible al que esto trata, dejar de citar dos teorías ya un tanto pasadas de moda, pero propugnadas por dos ilustres viajeros naturalistas que en la Gran Colombia, convivieron convulsiones sísmicas, las estudiaron, describieron y buscaron explicaciones y relaciones con otros fenómenos. Fueron ellos Alejandro von Humboldt, y Jean Baptiste Boussingault. Humboldt que «sintió violentos sacudones en Cumaná y averiguó allí mismo las detalladas circunstancias

que acompañaron a la gran catástrofe del 14 de diciembre de 1797», creyó que todo terremoto coincidía con una erupción volcánica y la explicaba como la reacción del interior candente de la tierra sobre su corteza rígida. Miraba a los volcanes y terremotos como resultado de una causa común. Dice así: «Indudablemente es preciso atribuir a la reacción de los vapores sometidos a una enorme presión en el interior de la tierra todas las sacudidas que agitan su superficie, desde las más formidables explosiones hasta las más débiles conmociones... En mis observaciones al borde del Vesubio y sobre la roca que se levanta como una torre sobre el cráter de Pichincha, sentía constantemente las sacudidas con 20 ó 30 segundos de anterioridad a la erupción de los vapores o de las escorias incandescentes, siendo tanto más fuertes las sacudidas cuanto más tardías eran las explosiones, porque entonces se acumulaban los vapores en mayor cantidad. En esta observación, tan sencilla y confirmada tan frecuentemente por la experiencia de todos los viajeros, se encuentra la explicación general del fenómeno. Los volcanes activos son como válvulas de seguridad para las regiones vecinas» (6).

Boussingault que vivió en Colombia de 1823 a 1828, nos describe varios temblores sentidos por él y en vista de que éstos tenían lugar sin que las bocas ignívolas de los volcanes dieran señales de actividad, descartó la teoría patrocinada por Humboldt y dedujo que el derrumbamiento de grandes masas en las cavernas interiores de la tierra, podría ser el origen de los temblores andinos. Exprésase así Boussingault:

Paréceme que la mayor parte de los terremotos, tienen su origen en los derrumbamientos subterráneos de las montañas, es decir, en el hundimiento interior de la Cordillera de los Andes, el cual es consecuencia natural del levantamiento, que según yo lo concibo, no se efectuó estando fundidas o semiderretidas las materias que la constituyen» etc. Más adelante aún explica los roncós bramidos que acompañan a los movimientos de la tierra: «Estos hundimientos, que han debido ser tan frecuentes inmediatamente después que se levantaron las montañas, continúan hasta ahora y no vacilo en atribuir a su acción, no solo la mayor parte de las grandes

(6) Humboldt, Alejandro von: *Cosmos*, Imprenta de Gaspar y Hoig, Madrid, 1874, Vol. IV, pg. 193.

conmociones subterráneas que conmueven tan a menudo a las montañas, sino también los ruidos sordos que acompañan siempre los terremotos y que en aquellas regiones llaman «bramidos» (7).

Por error son tenidas hoy estas explicaciones de terremotos. Humboldt, sin embargo, tiene razón cuando se refiere a los temblores volcánicos que generalmente sacuden ligeramente el cono del volcán. Sin embargo, volcanes y temblores son dos fenómenos geofísicos que han sido unidos en el espíritu público tan fijamente que tan pronto tiene lugar un terremoto la gente dirige espontáneamente la mirada al volcán más cercano para hacerle responsable de la catástrofe. Ninguno de los grandes sismos ha coincidido con una erupción y recíprocamente los paroxismos volcánicos durante el lapso de tiempo no han producido sino rupturas insignificantes. Francisco Javier Vergara y Velasco dice en su Atlas (8): «En Colombia, tanto como en otras partes, es visible la independencia ordinaria de los fenómenos sísmicos y volcánicos».

Aunque en las cavernas de formaciones calizas y en las viejas minas, el colapso de los techos produce pequeñas vibraciones en la superficie, parece que éstas son el producto inmediato de la ruptura o falla y no del impacto de las rocas en el suelo, que no es generalmente como de un peso en caída libre.

ULTIMAS CAUSAS

Que todo terremoto es un desprendimiento natural de energía irradiada en forma de vibraciones elásticas del terreno o de ondas sísmicas, es algo que todo mundo admite.

Que las rocas de la corteza terrestre fueron sometidas a tremendos esfuerzos hasta que éstos desaparecieron al sobrepasarse los límites de la elasticidad y producirse roturas y fallas generadoras de ondas elásticas, es cosa constatada por los sismólogos modernos.

Pero, qué fuerzas fueron esas que originaron los esfuer-

(7) «Sobre los terremotos de los Andes». Viajes científicos a los Andes Ecuatoriales. París. Librería Castellana. 1849, pág. 56.

(8) Atlas completo de Geografía de Colombia, Imprenta Eléctrica. Bogotá, 1906, pág. 6.

zos gigantescos y que se anihilaron al fracturarse las cordilleras? Esta es precisamente materia de controversia entre los entendidos. Los geofísicos hablan de procesos epirogénicos y orogénicos, como causas últimas o sea, debidas a levantamientos continentales o a formación de montañas. Pero, qué fuerzas, se pregunta de nuevo, son esas y cuál es su origen?

TEORIAS SOBRE LAS CAUSAS DEL TERREMOTO

Para una breve introducción como la presente, bastará con los sismólogos, enumerar algunas teorías, dejando a los sabios del futuro la solución definitiva.

I—Existe una contracción de la corteza terrestre por enfriamientos desde su origen hasta hoy, por los procesos de radiación, conductibilidad y convección del calor. El enfriamiento y consiguiente achicamiento de la tierra produce como consecuencia su arrugamiento y desplome por plegamientos y roturas a lo largo de zonas de debilidad.

II—La isostasia o condición de balance hidrostático, entre diferentes segmentos de la corteza del globo, se quebranta en veces y se rompe, y el equilibrio se restablece por medio de movimientos tectónicos bruscos que son el terremoto.

III—La teoría termal cíclica que parte del principio de que los minerales radioactivos, que por lo menos deben abundar tanto en el interior como en el exterior de la tierra, producen más calor del que puede ser comunicado al exterior. Viene por tanto como resultado la expansión y las rocas sufren tensiones o esfuerzos extralimitados que aparecen en forma de pliegues o fracturas de la tierra.

IV—También se cita frecuentemente la hipótesis de Wager que supone que bloques de dimensiones continentales se mueven distancias enormes ya sea arrastrados por corrientes conveccionales o por un descenso gravitacional en plano diferente inclinado.

V—Ultimamente, algunos sismólogos japoneses explican los terremotos por los cambios químicos y físicos que se producen en los depósitos del magma que oculta la corteza terrestre, y que a su vez originan cambios lentos en la presión del magma.

Si la presión aumenta, el magma puede inyectarse violentamente en aquellas partes en las rocas que ofrecen mayor resistencia. Como pruebas de cambios de presión interior se citan cambios de nivel en varias partes del Japón antes y después de los terremotos.

CLASES DE TERREMOTOS

Se suelen distinguir tres clases reconocidas de sismos: tectónicos, volcánicos y plutónicos.

Cuando los terremotos implican una deformación de la corteza terrestre en forma de pliegues o fracturas, se llaman *tectónicos* o de carácter estructural (del griego *τετιω* = construir). La mayor parte de los sacudimientos del territorio colombiano, un 90%, son tectónicos aunque en la mayoría de los casos no se encuentra en la superficie del terreno una zona de fallas visibles.

Los terremotos *volcánicos*, casi siempre temblores, son aquellos que tienen como causa inmediata el volcanismo y son producidos por fuerzas que vienen de explosiones, fracturas o fallas dentro del cono del volcán y que pueden ser resultado de la presión de gases o fuerzas debidas a la intumescencia o contracción de la lava a escasísima profundidad. Su energía total es pequeña aunque pueden ser frecuentes localmente y producir grandes destrozos en las vecindades del volcán. Quizá un 8% de los temblores colombianos pueden estimarse como de origen volcánico.

Finalmente, terremotos *plutónicos* son aquellos originados a ciertas profundidades de 100 a 700 kilómetros en la base de la corteza terrestre. Su naturaleza y causa constituyen hoy uno de los más interesantes y extensos problemas de investigación sísmica. Terremotos de este tipo con profundidades de 600 kilómetros y más, ocurren debajo de las planicies amazónicas del Caquetá y Putumayo, como puede verse en el mapa sísmico.

ONDAS Y SU PROPAGACION

Si consideramos la tierra como si fuera una substancia homogénea (lo es en gran parte concéntricamente), isotrópica (lo es imperfectamente) y elástica (se acerca a la elas-

tividad perfecta) y si imaginamos, como sucede tantas veces, que en una región limitada se origina una perturbación inicial, entonces se produce un impulso inicial instantáneo, o en el caso de una explosión cerca del origen, una zona de grietas y fracturas de las rocas que los alemanes llaman zona de pulverización. Limitando con ésta, empieza la región de las ondas elásticas puras, que se propagan en la tierra en forma de movimiento ondulatorio, que es gradualmente absorbido por la elasticidad de la tierra. El primer movimiento es molecular, seguido de una oscilación de las partículas cerca del origen. Este primer impulso da origen a una onda de tipo longitudinal, llamada también de comprensión y de dilatación, o de condensación y rarefacción, u onda primaria, nombres todos que indican la misma clase de onda, en la que las partículas del medio transmisor se mueven en la dirección de propagación de una manera semejante a las ondas del sonido. Los sismólogos, para abreviar, la llamaron la onda P y es la primera que empieza a propagarse concéntricamente en el interior del cuerpo.

A este primer impulso sigue otro de ondas transversales, secundarias, generadas al mismo tiempo por la misma explosión o fractura del terreno. El movimiento de las partículas en esta segunda clase de ondas es perpendicular a la dirección de propagación, como el de un corcho que sube y baja, mientras las ondas del lago se propagan concéntricamente hacia la orilla, cuando se ha lanzado una piedra a perturbar la tranquilidad de sus aguas.

Este primer par de ondas se propaga e irradia dentro del cuerpo esféricamente, en todas direcciones. Grandes amplitudes y cortos períodos son característicos de estas ondas en sus principios, decreciendo las amplitudes y aumentando los períodos con la distancia. Son las ondas destructoras de los terremotos y las que se suelen utilizar en la prospección sísmica.

A través de medios homogéneos, isotrópicos y elásticos, las velocidades no dependen de la longitud de onda, ni del período, ni de la carga de dinamita, sino únicamente de la densidad y de las constantes elásticas del medio.

Si V_p representa la velocidad de la onda primaria, λ la constante de Lamé, s la constante de Poisson, k el módulo

de incomprensibilidad, m el módulo de rigidez, E el módulo de Young, y r la densidad del medio, entonces su velocidad se puede expresar de las siguientes maneras:

$$v_p = \sqrt{\frac{k + 2m}{r}} = \sqrt{\frac{k + 4/3m}{r}} = \sqrt{\frac{E(1 - \epsilon)}{r(1 + \epsilon)(1 - 2\epsilon)}}$$

Si V_s representa la velocidad de la onda transversal entonces,

$$V_s = \sqrt{\frac{m}{r}} = \sqrt{\frac{E}{2r(1 + \epsilon)}}$$

La tercera onda en llegar a una estación es una onda superficial estudiada por Rayleigh, llamada onda Rayleigh o simplemente R. Esta onda avanza por un plano limitado por una superficie libre y no implica desplazamiento sino en dos direcciones, la vertical y la dirección de propagación.

A medida que avanza, hace que las partículas oscilen en una órbita elíptica, cuyo eje mayor es vertical y el menor longitudinal. En la parte superior de la órbita la partícula se mueve en dirección contraria a la dirección de propagación y en la parte inferior a la dirección de propagación.

En otras palabras, las ondas Rayleigh son una combinación de ondas P y S con un plano de oscilación perpendicular a la superficie y paralela a la dirección de propagación.

En un medio homogéneo, la velocidad de la onda Rayleigh es dada por la fórmula.

$$V_R = 0.9194 \sqrt{\frac{m}{r}}$$

La última clase de onda observada en la superficie de la tierra es llamada Love, o, simplemente, L, o, también, Q, del alemán Querwellen.

Es una onda longitudinal y transversal combinada, con un plano de oscilación en una superficie que descansa sobre otra. El desplazamiento de las partículas es únicamente horizontal y perpendicular a la dirección de propagación.

ESCALAS DE INTENSIDADES

Las escalas de intensidades de terremotos tratan de expresar la intensidad, fuerza o violencia del movimiento de la tierra en una región particular en términos de los efectos que el sismo produjo en la gente y en las cosas, incluyendo los muebles, edificios y obras estructuras y la tierra misma.

Varias escalas se han ideado: las más importantes dividen el movimiento de *1 a 3*, de *1 a 10* y de *1 a 12*; la segunda es llamada de Rossi-Forel, y la tercera de Mercalli-Cancani.

En todo caso, 1 significa la moción más débil, mientras que el número más alto representa el tipo más violento de movimiento. La mayor utilidad de estas escalas se halla en la construcción de líneas isosísmicas o de puntos de igual intensidad, en los esfuerzos para determinar la profundidad focal y las características elásticas de las diferentes formaciones geológicas.

Popularmente, según la intensidad, los terremotos se pueden dividir en temblores, fuertes temblores, terremotos y terremotos catastróficos o mundiales. Según la profundidad del foco, los terremotos pueden ser superficiales (15 o menos kilómetros de profundidad) normales (entre 15 y 100 kilómetros de profundidad) y profundos (de 100 a 700 kilómetros de profundidad epicentral). Según su posición geográfica se pueden distinguir los terremotos y maremotos. Según la distancia al epicentro se llaman locales, cercanos, distantes y lejanos.

VOCABULARIO SISMICO

Antes de entrar en materia será útil definir los términos más ordinarios usados para discutir estos fenómenos.

Es de advertir que la palabra española terremoto del latín *terræ motus*, o temblor, así como la alemana *Erdbeben*, la francesa *tremblement de terre*, la inglesa *earthquake*, la japonesa *jishin*, todas ellas significan traducidas literalmente un temblor o estremecimiento de la tierra con mayor o menor violencia.

Sismología (σεισμος = temblor, λογος tratado) significa en su sentido más sencillo, estudio de los terremotos. Consis-

tentes con el origen griego de la palabra, algunos autores abogan por la palabra seismo en vez de sismo. Ambas formas pueden ser correctas. Muchas palabras castellanas tomadas del griego han convertido el sonido primitivo *ei* en *i*. vg. Εἶδωλον = ídolo; Εἰρήνη = Irene; λειριον = Lirio.

El punto de origen de donde proviene el movimiento y está la causa del sismo se llama *foco* o *hipocentro*. El punto o área del planeta en donde más se sienten los efectos de las sacudidas encima del foco se denomina *epicentro*. La distancia del epicentro al observador se apellida *distancia epicentral*. La distancia vertical entre el epicentro y el hipocentro se denomina profundidad de foco.

Líneas isosísmicas son aquellas que unen puntos de igual intensidad sísmica en la superficie del terreno. Generalmente tales líneas isosísmicas se trazan para cada grado de la escala de intensidades. En un terreno poblado un investigador experto podrá recoger datos fidedignos para un buen mapa de líneas isosísmicas.

La hora en que el temblor ocurre en el hipocentro se apellida *hora hipocentral*.

Territorio sísmico, es aquel donde son frecuentes los verdaderos terremotos, y *asísmico*, aquel donde los temblores son desconocidos o débiles o raros.

Estación sísmica es la instalación toda de instrumentos para el registro de los terremotos.

La ciencia de los terremotos se llama *sismología*. Todo lo que se refiere a los terremotos se dice *sísmico*.

Los aparatos para el registro de los terremotos se llaman *sismógrafos*, y sus registros *sismogramas*.

ENERGIA DE LOS TERREMOTOS

El número total de temblores verdaderos en todo el globo es de un millón por año.

Las masas en movimiento durante un temblor son enormes y por consiguiente enorme también el desarrollo de la energía, que en este caso será dinámica. Basta pensar que la energía en ergios de un temblor de la mayor magnitud XII en la escala de Mercalli-Cancani sería de 25×10^{26} ergios.

La energía de una bomba atómica de las últimas, se ha dicho que es equivalente a 20.000 toneladas de TNT, o sea del orden de 10^{21} ergios, lo que corresponde a una magnitud de 7 en la misma escala. Las explosiones atómicas cuando se hacen estallar sobre la superficie de la tierra, no dan origen a terremotos notables porque la mayor parte de la energía se disipa en la atmósfera.

Uno de los terremotos de mayor energía en la historia sísmica mundial de los últimos 55 años, fue el de Tumaco, el 31 de enero de 1906. Su energía se ha calculado en 8.6 (Escala Gutenberg-Richter) 25×10^{26} ergios.

Microsismo en unas partes, especialmente de habla hispana, son sismos de poca intensidad o temblores de tierra, a veces apenas registrados por los aparatos para diferenciarlos de macrosismos o sacudidas intensas. En otras partes, principalmente entre los escritores de habla inglesa, microsismos son las ondulaciones regulares y frecuentes de la tierra, producidos por los terremotos en el mar o por causas parecidas.

Maremoto, es el sismo cuyo epicentro se halla en el mar. Suele ir acompañado de grandes ondas sísmicas (de menor velocidad de translación que las ondas terrestres, y de longitudes de onda de 300 kilómetros).

Estos tsunamis producen primero al llegar a las costas un retroceso del mar, para volver luego con gran furia avanzando kilómetros sobre tierra. En Tumaco, el terremoto de 1906 produjo más daños el tsunamis que el terremoto mismo.

OBSERVACIONES

Numerosos documentos e historias han sido consultadas con cuidado, y sus datos e informaciones clasificados cronológicamente, darán una idea de conjunto más cualitativa que cuantitativa de la sismicidad de Colombia.

Algunas antiguas observaciones y notas no permiten determinar con la precisión que fuera de desear, la región epicentral y la intensidad de la sacudida.

Desde principios del siglo actual, los sismógrafos del mundo aportan datos cada vez más numerosos, tendientes a una mejor determinación del foco sísmico, a una más precisa

evaluación de la energía puesta en libertad en cada sacudida, y a un estudio más completo de detalle. Para futuras investigaciones, este catálogo servirá de elemento básico. Desde ahora, ofrece una fuente abundante de información a los ingenieros, arquitectos, compañías de seguros, sismólogos, que así pueden conocer mejor las zonas más particularmente afectadas por los sismos en Colombia.

En letra mayor se contienen en forma precisa y concisa los detalles esenciales relativos a las sacudidas telúricas cuya intensidad ha alcanzado el grado 3 y mayor en la escala internacional. En letra menor están los datos de otros temblores menores y de detalles menos importantes de los temblores mayores.

La indicación de las fuentes tanto históricas como científicas de cada sismo catalogado, va acompañada de una o más abreviaturas de una bibliografía detallada que va al fin de esta obra.

Dos circunstancias obligan a poner en cuarentena una parte de los documentos: a) Los datos antiguos son menos exactos en cuanto a localización y descripción de hechos. b) Las muchas citas no dan idea exacta del punto de origen del temblor sino de sitios donde fue sentido, a veces a distancias de 100 kilómetros del epicentro.

Estos detalles, que pudiéramos llamar demográficos, dependen de la densidad de la población y de la cultura. Bogotá y Popayán pueden resultar ciudades altamente sísmicas por el hecho de tener numerosos cronistas y observadores.

CUESTIONARIOS

El establecimiento de sismógrafos en una región, no puede substituir del todo a los relatos de testigos presenciales de los temblores. Los informes sobre los efectos producidos por una sacudida sísmica en la superficie del terreno son de gran ayuda en la localización del epicentro y necesarios para el trazado de las líneas isosísmicas. El sistema de enviar cuestionarios a personas entendidas inmediatamente después de un terremoto, se usa en los países más adelantados y se ha introducido desde 1943 en Colombia por el Instituto Geofísico de los Andes Colombianos, en colaboración con el Instituto Geográfico Militar.

Véase el modelo de cuestionario que se envía a los alcaldes y curas párrocos.

Una vez recibidos los cuestionarios, el factor importante pertenece a la persona encargada de evaluar cuidadosamente los datos recibidos e interpretarlos. Las monografías de los terremotos colombianos en los últimos años se han basado mejor en los informes desinteresados de muchas personas cuya colaboración nos complacemos en hacer resaltar.

FUENTES

Para hilvanar mejor este catálogo historiografiado y para incluir en él hechos que dieran más que la mera cronología, se consultaron viejos documentos, libros de viajeros e historiadores, de científicos y varios aficionados, que escribieron sobre la materia. Los hechos por tanto se presentan aquí, basados en la autoridad de cada autor, cuyas palabras se copian o se traducen de las fuentes originales. La regla ha sido de no omitir ninguna aseveración por poco probable o fortuita que pueda parecer, sin salir garante de ninguna, dejando a cada autor la responsabilidad que le incumbe.

Estas han sido las fuentes principales de información:

1) Catálogos de temblores en los boletines sísmicos y revistas científicas, v.g.: Mallet, Milne, Perry, Szirtes, Fuchs, International Seismological Summary.

2) Descripción de terremotos publicados en libros de historia, revistas, periódicos, en cuya colaboración es justo agradecer la ofrecida por el R. P. Luis Forero, S. J.

3) Listas y datos especiales puestos a disposición por varios amigos como el Dr. José María Arboleda, del Archivo histórico de la Universidad del Cauca.

4) Datos verbales dados por algunos testigos fidedignos. Cito a uno entre varias decenas: el R. P. Silva, cura párroco de El Agrado, Huila.

5) Registros sismográficos principalmente en las estaciones sismológicas colombianas.

6) Datos inéditos del Archivo Nacional de Bogotá, gentilmente extractados y copiados por la señorita Bustos.

Algunos artículos se ocupan de temblores que ocurrie-

ron tiempos hace, otros mencionan el hecho de que un temblor tuvo lugar, pocos dan una descripción enjundiosa de la catástrofe, y más pocos aún son los que se ocupan de investigar los fenómenos sísmicos como tal y su relación con los geológicos.

La historia de los terremotos en la China empieza hacia 1830 antes de Cristo. En la región del Asia Menor los catálogos empiezan por los del Monte Sinaí en 1606 antes de Cristo tomados del libro del Exodo.

En América existen historias de temblores entre los aztecas desde 1460 y de los indios de Venezuela y Colombia, de antes de la conquista, pero la historia empieza probablemente en América en 1500 y en Colombia en 1530.

El período durante el cual se han guardado informes de valor científico es de un poco más de un siglo; la localización de epicentros por medio de aparatos data de fines del siglo pasado. La primera estación sismológica colombiana fue instalada en Bogotá en 1923 por el Reverendo Padre Simón Sarasola, utilizando el sótano del antiguo edificio de San Bartolomé cerca de la calle 9ª con carrera 6ª, consistente en un Wiechert de dos componentes horizontales y cartujas también horizontales. La moderna estación sismológica de Bogotá se inauguró solemnemente el 27 de septiembre de 1941 en los predios del colegio de San Bartolomé La Merced, al fundarse el Instituto Geofísico de los Andes Colombianos.

Consta de los siguientes aparatos:

1 Benioff vertical de período corto.

2 Componentes horizontales Sprengnether de período largo.

1 Wiechert de 100 kilos.

1 Acelerógrafo tipo Montana.

Tres nuevas y modernas estaciones se han establecido en Colombia, a saber: Galerazamba 1948, auspiciada por la Sección Salinas del Banco de la República; Chinchiná 1949, patrocinada por la Federación Nacional de Cafeteros y Fúquene instalada en la pintoresca Isla del Santuario por el Instituto Geográfico Militar en 1957 con ocasión del Año Geofísico Internacional (1957-1958).