

II. La isostasia o condición de balance hidrostático, entre diferentes segmentos de la corteza del globo, se quebranta a 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. 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.

10.—Tectónica de placas

En la última década, se ha abierto paso la teoría de placas que tiene que ver con la causa de los terremotos. Según esta teoría, la corteza terrestre está dividida en siete u ocho grandes placas gigantescas que se mueven errática y despaciosamente sobre el globo, llevando consigo mares y continentes. Los bordes de contacto de estas placas se rozan y aún chocan entre sí. Algunos de ellos, constituyen zonas de expansión o separación de placas, pues a medida que el magma sube inyectado entre las placas para formar nueva corteza, éstas se separan. Como el crecimiento marginal de una placa, en una superficie confinada de una esfera, solo puede tener lugar, por una reducción en el tamaño de las placas en otro borde de las mismas, esto solo puede acontecer o por plegamiento de la corteza entre las placas, o por inmersión de un borde de una placa debajo de la otra en la zona de colisión.

Es pues natural que las zonas de interacción o colisión de placas, sean zonas ideales de producción de tensiones de la corteza que a su vez se reflejen en zonas globales de gran actividad sísmica. Aún los bordes de placas que ni se están creando ni se están consumiendo, son zonas de distorsiones horizontales entre placas.

Así se puede observar, en el mapa adjunto, que la zona de distribución de focos sísmicos coincide con las zonas generalmente rectas localizadas en la mitad de los océanos en donde se separan las placas, y también con las zonas en donde existe colisión, subducción y distorsión de placas.

Los sismos tectónicos se deben a energía repentinamente liberada en la interacción de las placas al moverse bruscamente un borde de la placa con respecto a la otra.

Los bordes de colisión actual de placas se caracterizan por sistemas de montañas geológicamente complejos, tales como las cordilleras de la Costa del Pacífico en las Américas y las que atraviesan el Sur de Europa y el Asia, llamadas Alpi-Himalaya o por áreas volcánicas de islas como las que bordean el norte y oeste del Océano Pacífico. Todas estas regiones son zonas de actividad sísmica, como también lo son las zonas de separación de placas. Esta es pues, la relación entre tectónica de placas y focos sísmicos.

Pero vuelve de nuevo la cuestión: ¿cuál es la fuerza motriz que impulsa las placas? Se cree que sean las corrientes de convección del interior de la tierra, originadas por diferencias de temperatura.

11.—Predicción de sismos

Siguiendo las ideas esbozadas sobre tectónica de placas, es natural que las colisiones, roces, crecimientos y cicatrizaciones de placas, tengan que ver con cambios en las propiedades físicas de las rocas y su contenido líquido y gaseoso, y por ende con su predisposición para una liberación repentina de energía, es decir, con la productibilidad de los sismos.

Así es como científicos japoneses, rusos y norteamericanos han detectado recientemente cambios en las propiedades físicas de las rocas, que han abierto posibilidades de preannunciar las sacudidas terráneas.

Los japoneses se han dedicado a medidas de elevación del suelo, de cambios magnéticos o aumento en el número de pequeños sismos premonitorios. Los rusos han escrito sobre

medidas de la resistibilidad eléctrica de las rocas, sobre aumento del gas radón en un pozo radiactivo y sobre cambios en la velocidad de las ondas P que es 1.75 más veloz que la de la onda S, en condiciones normales. Esta relación de velocidad dicen que decrece en las semanas y meses que preceden al temblor y después de una bajada rápida vuelve a su valor normal antes del sismo, con la anotación, de que cuanto más dura la anormalidad, mayor es la magnitud de la sacudida.

Dilatancia es la nueva palabra inventada en Estados Unidos para indicar el estado en que las rocas bajo presiones se endurecen y expanden.

Cuando dos placas de la corteza se rozan y producen esfuerzos, se desarrollan en las rocas grietas microscópicas que aumentan el volumen de las mismas. Se comenta que como no hay agua suficiente para rellenar todas las fisuras, las ondas sísmicas, particularmente las primarias o P, reducen su velocidad y consiguientemente la relación de velocidad entre P y S. El agua debilita las rocas que pueden resistir más, cuando contienen menos agua; cuando esta pasa a través de pequeños intersticios y los llena, entonces la velocidad de las ondas vuelve a lo normal. Las rocas saturadas de agua no tienen la resistencia debida y se rompen cuando los esfuerzos aumentan. Entonces viene la ruptura que es el temblor de tierra.

Los abogados de la dilatancia arguyen que ella explica otros cambios físicos observados antes del temblor; así, el aumento de volumen en las rocas causa el levantamiento de la superficie terrestre. Como la conductibilidad eléctrica está relacionada con la presencia del agua en las rocas, la teoría de la dilatancia exige una disminución en la resistencia y a su vez el aumento de conductibilidad, resulta en cambios del campo magnético local. Además el agua que se filtra en las fisuras lleva consigo gases, como el radón, que aumenta la concentración del isótopo.

Estas son las líneas generales que orientan las investigaciones actuales sobre predicción de sismos y que bien pueden culminar, en el lapso de una generación, con el preaviso de los terremotos que van a tener lugar en esa semana o mes.

Principales cinturones sísmicos del mundo. Color rojo: regiones de expansión de la corteza entre placas; color azul: regiones donde predomina la compresión o distorsión.

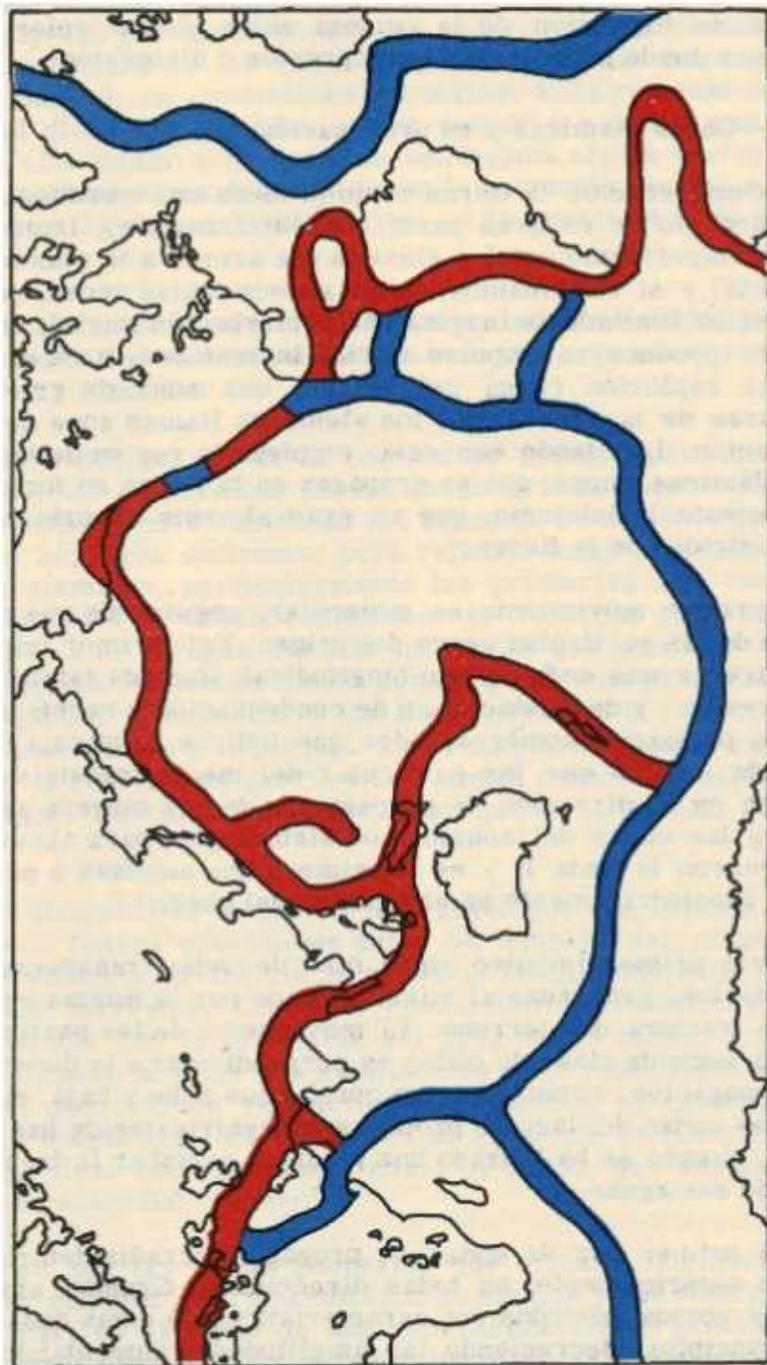
12.—Ondas sísmicas y su propagación

Si consideramos la tierra como si fuera una sustancia homogénea (lo es en gran parte concéntricamente), isotrópica (lo es imperfectamente) y elástica (se acerca a la elasticidad 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 esta, 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 compresión 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 la 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 incompresibilidad, 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:

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2m}{r}} = \sqrt{\frac{K + 4/3m}{r}} = \sqrt{\frac{E(1-s)}{r(1+s)(1-2s)}}$$

Si V_s representa la velocidad de la onda transversal, entonces

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

La tercera onda en llegar a una estación es la onda 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.

13.—Escala 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 mismo produjo en la gente y en las cosas mismas, incluyendo los muebles, edificios y otras estructuras y la tierra misma.

Varias escalas se han ideado, las más importantes dividen la intensidad 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. Estas escalas se usan preferentemente en el trazado de líneas isosísmicas o unión de puntos de igual intensidad, para determinar el epicentro, 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.

14.—Vocabulario sísmico

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 *terraemotus*, 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.

El punto de origen de donde proviene el movimiento y en donde está la causa del sismo se llama **foco** o **hipocentro**. Según la profundidad del foco los terremotos pueden ser superficiales (15 o menos kilómetros de profundidad), normales (entre 15 y 60 kms. de profundidad), medianos (entre 60 y 300 kms.), y profundos (de 300 a 700 kilómetros de profundidad hipocentral). Según su posición geográfica se pueden distinguir los terremotos y maremotos. Según la distancia al epicentro se llaman locales, cercanos, distantes y lejanos. 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 llama **distancia epicentral**. La distancia vertical entre el epicentro y el hipocentro se denomina **profundidad de foco**.

Líneas isosísmicas o **isosistas** son aquellas que unen puntos de igual intensidad sísmica en la superficie del terreno.

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

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

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

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

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

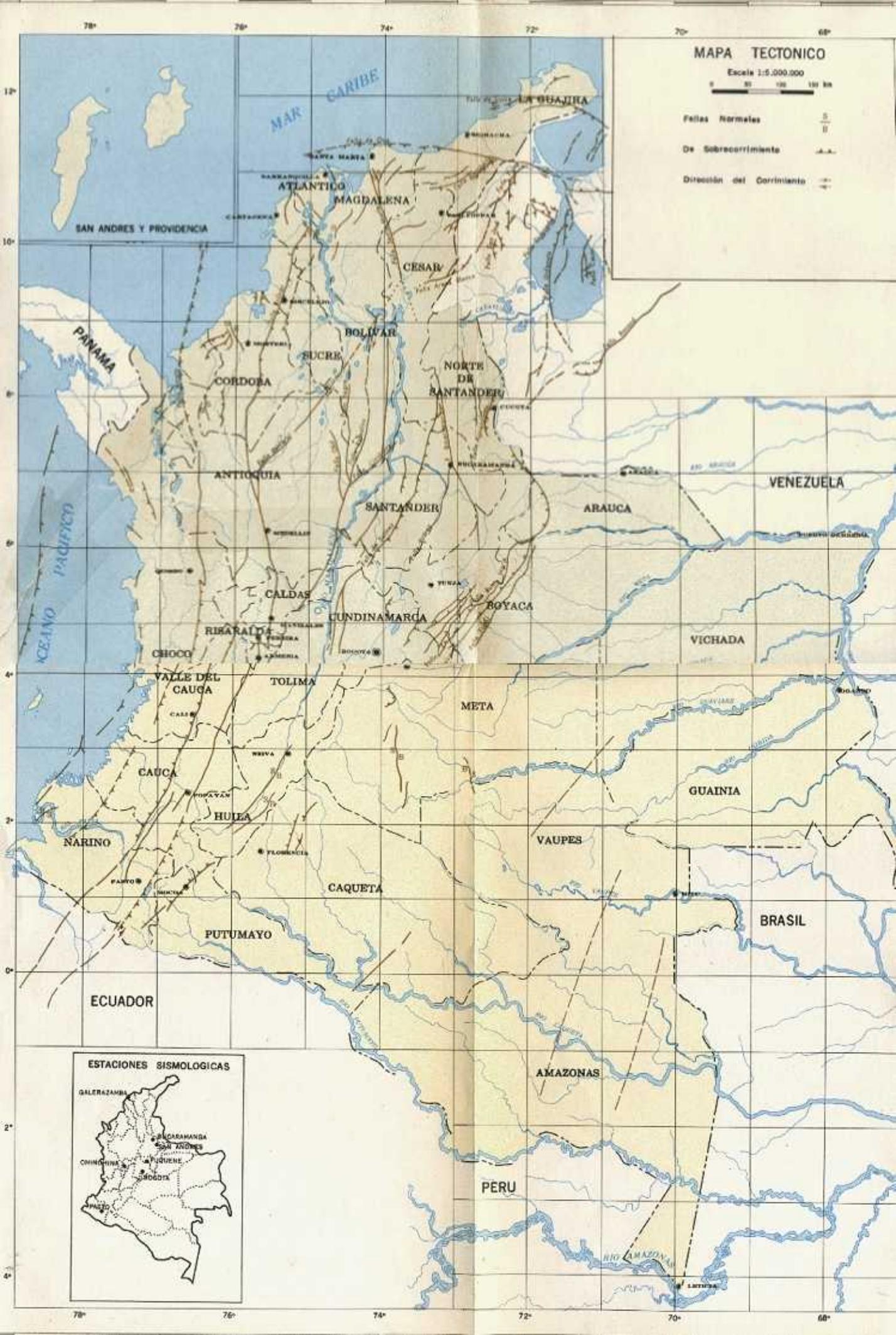
Notas

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 como la de Hiroshima, 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 $E = 2 \times 10^{26}$ ergios, suponiendo que la magnitud es de 8.6 en la escala de Richter.

Microsismo en unas partes, especialmente de habla hispana, son sismos de poca intensidad o temblores, que apenas alcanzan a registrarse en los delicados sismógrafos, y llamados así en yuxtaposición a los macrosismos o terremotos. En otras partes, principalmente entre los escritores de habla inglesa, microsismos son las ondulaciones regulares y frecuentes de la tierra, producidos principalmente por los ciclones o tormentas en el mar.



MAPA TECTONICO

Escala 1:5.000.000

0 50 100 150 km

- Fallas Normales
- De Sobrecorrimiento
- Dirección del Corrimiento

