

FECHAS.	HORAS.			Amplitud de la oscilacion. m. m.	Dirección aparente.
	h.	m.			
Stbre. 9	6	44	p. m.	1.0	SW.
	11	17	"	1.2	NW.
13	10	24	a. m.	4.0	SW.
Octubre 7	7	49	"	4.2	SW.
	10	25	"	4.0	SW.
	12	25	p. m.	1.0	S.
	1	35	"	1.4	S.
11	2	16	"	2.0	SE.
15	3	15	"	4.0	NW.
	3	36	"	3.6	NW.
	21	2	10	"	3.4
24	9	05	a. m.	2.0	SE.
26	12	05	"	3.8	W.
Nbre. 4	5	16	"	2.0	W.
	5	51	"	1.0	SW.
10	5	52	p. m.	1.2	SW.
14	11	52	"	2.2	SW.
19	6	20	a. m.	2.4	NW.
Dbre. 20	4	53	p. m.	2.0	NW.
	21	5	a. m.	1.2	NW.
31	8	46	"	1.0	NW.

Con motivo de un corto viaje, desde el día 20 de Noviembre á 19 de Diciembre no se hicieron observaciones.—*C. Mottl.*

ESTUDIO

De la distribución horaria diurna y nocturna de los movimientos sísmicos y su relación con las culminaciones de la luna

POR

F. DE MONTESSUS DE BALLORE

Socio corresponsal en París,
Inspector de estudios en la Escuela Politécnica.

Las numerosas leyes ó relaciones de orden cósmico ó meteorológico, que en gran número han sido y son actualmente emitidas acerca de los terremotos, deben de someterse á comprobaciones severas, porque comunmente son el resultado de estadísticas reducidas. La mayor parte de ellas, quizá todas, se han deducido de aproximaciones de los catálogos sísmicos más ó menos extensos y de catálogos de los fenómenos con los cuales los autores han querido relacionar los movimientos sísmicos, guiados por ideas teóricas *á priori*. Concienzudamente ó no, se han señalado bien las coincidencias, cuidando de no decir las veces por ciento que se producen unos de los fenómenos comparados independientemente de otros.

La seismología es una de las ciencias en que más se ha abusado de este método de las coincidencias, enteramente anticientífico, y del cual uno de los ejemplos más notables es la ley de Audrand: un terremoto está siempre acompañado de una inundación en algún punto del globo. No es aquí la ocasión de hacer la crítica de este método, del cual ya me he ocupado en trabajos anteriores; en este estudio me limitaré á revisar dos importantes leyes: la primera relativa á la predominación de las oscilaciones terrestres durante la noche, apenas admitida; la segunda, célebre bajo el punto de visto teórico, que atribuye cierto número de conmociones á la acción de una marea lunar sobre el núcleo de la tierra, supuesto aún en estado fluido.

I. Establecimiento del catálogo sísmico.

Se ha necesitado primeramente constituir como instrumento de estudio un extenso catálogo cronológico, comprendiendo toda la superficie terrestre y sin hacer crítica en él de ningún hecho. He debido para esto recorrer todos los catálogos existentes, parciales tanto con relación al tiempo, como con relación al espacio, á fin de comprobar unos por otros. Este ha sido el único medio de asegurarse que en las estadísticas un hecho dado no puede figurar más que una vez. Esta comprobación recíproca me ha hecho eliminar un gran número de movimientos dudosos, puesto que las fechas y aun las horas no han sido perfectamente concordantes. En lugar de elegir entre las diversas autoridades, he preferido no tener cuenta de estos hechos, cuando para decidirme no he tenido á la vista la fuente original. A este examen han resistido 45,000 hechos, número más que suficiente para lo que me he propuesto y me puse en el deber de ser tanto más severo, cuanto de que se trataba de negar relaciones admitidas por seismólogos de autoridad.

En este orden de ideas he renunciado sistemáticamente de todos los acontecimientos señalados por la prensa extracientífica y que comunmente resultan de telegramas más ó menos bien

transmitidos y que dan lugar á incertidumbres en las fechas, que llegan fácilmente á 48 horas. La costumbre tan extendida de atrasar los periódicos, es otra de las causas de error, así como la expresión *media noche* que hace dudar si se trata de la media noche en que comenzó ó en que terminó un día dado, y en fin, que en varias publicaciones no es fácil saber si se trata de tiempo civil ó astronómico.

No obstante todas estas precauciones, los diferentes fenómenos tienen valores ó pesos bastante desiguales. Así, pues, en lugar de hacer una estadística en conjunto, he formado los grupos siguientes:

1º Series de regiones mal definidas bajo el punto de vista de la geografía física.

Por ejemplo, la Francia, después de separarle la Provenza y la región de los Pirineos, en que las oscilaciones son relativamente más frecuentes que en el resto del país. Si hubiera establecido tantas series cuantas son las regiones sísmicas bien definidas, mi catálogo quedaría tan complicado, que muy poco se hubiera deducido de la estadística.

2º Series de regiones bien definidas bajo el punto de vista de la geografía física.

3º Series locales de corta duración y de un observador.

Por ejemplo, las observaciones de Gempeler en el Simmenthal, del 13 de Abril al 16 de Octubre de 1885.

4º Series locales de larga duración y de un observador.

Por ejemplo las observaciones de Tscheimen en el Valle de la Visp, de 1855 á 1863.

Estos dos últimos grupos son muy importantes á causa de su doble carácter de unidad en el lugar y en el modo de observación.

5º Series volcánicas de corta duración y de un observador.

Como puede suponerse que los choques y las numerosas explosiones que acompañan á ciertas erupciones, constituyen un fenómeno que difiere esencialmente de las oscilaciones terrestres ordinarias, es útil destinarles un capítulo especial. Desgra-

ciadamente para los tres volcanes de que se poseen observaciones continuadas, sólo tienen valor las del Maunoa-Loa. En Santorin, Julio Schmidt sólo durante el día observaba regularmente, y en Ilopango (Centro América), Goodyear, durante la noche. Este grupo no tiene, pues, todo el peso que parecería indicar su título. En cuanto al Vesubio, las observaciones del Profesor Palmieri no permiten decidir si hubo por casualidad algo de particular en las oscilaciones puramente volcánicas, porque los instrumentos han registrado las que provienen de los alrededores.

6º Series de Comisiones seismológicas.

Desde hace algunos años se han formado en diversos países Comisiones seismológicas, cuyo objeto es centralizar y comparar todos los movimientos de la región. El Japón tuvo la iniciativa de este movimiento bajo el impulso de M. Milne, y la Italia lo ha seguido bajo el del Profesor Rossi; de esto han resultado las importantes publicaciones: *Transactions of the Seismological Society of Japan* y *Bullettino del vulcanismo italiano*, comenzados respectivamente en Septiembre y Diciembre de 1872. La «Société Helvétique des Sciences Naturelles» creó en 1878 la Comisión suiza de estudios seismológicos y por el mismo año M. Eck fundó el mismo servicio en Wurtemberg, que por desgracia hace muy pocos años que funciona regularmente. En las Indias holandesas, MM. Figeo y Ohnem, continúan desde 1884 las tradiciones de Bergsma.

Todas estas Comisiones, debidas á la iniciativa privada, han establecido multitud de estaciones en que los temblores son registrados automáticamente por seismógrafos, seismómetros ó tromómetros de diferentes sistemas, lo que hacen sus indicaciones defectuosas en cuanto á su comparación.

La escala de intensidades Rossi-Forel se ha adoptado generalmente, no obstante su carácter convencional.

Los documentos que provienen de estas Comisiones presentan, sin embargo, el grave defecto de no separar siempre con claridad los hechos que resultan de las indicaciones de los seis-

mógrafos, de los suministrados por los aficionados que habitan esas diversas regiones, y de aquí la falta de unidad que disminuye el peso de las observaciones.

7º Series de los observatorios geodinámicos italianos.

Únicamente los documentos italianos contienen series suficientemente desarrolladas para que sea posible someterlos por separado á la estadística. Es de creerse que más tarde estas serán de las únicas que habrá de que ocuparse, cuando en una época, que desgraciadamente parece estar aún muy lejana, haya observatorios de esta clase, esparcidos en toda la superficie del globo.

Los observatorios particulares de D. Carlos Mottl, de Orizaba, y del R. P. Faura, de Manila, merecen señalarse aquí, pero las observaciones publicadas hasta ahora son cortas.

Tales son los grupos de pesos crecientes que han servido como base para este trabajo.

No es esta la ocasión de dar un índice bibliográfico de los innumerables trabajos consultados; me limitaré á señalar los principales documentos de que me he servido. Primeramente los grandes catálogos generales de von Hoff, Mallet y Fuchs, en seguida los inmensos trabajos de Perrey. Los trabajos de interés local que conviene citar, son:

Antillas, Poëy.

California, Holden.

Cáucaso, Abich y Moritz.

Centro América, Goodyear, Rockstroh, Darío González y Pittier.

Chile, Gay, Troncoso y Vergara.

Escandinavia, Keilhau.

España, Casiano de Prado, Taramelli y Mercalli.

Estados Unidos y Canadá, Brigham y Rockwood.

Europa central, Falb, Jelinek y Ami Boué.

Europa oriental, Julio Schmidt.

Indias holandesas, Bergsma, Van der Stock y Versteeg.

Islandia, Thorródsen.

Italia, Sra. Scarpellini, Conti, Scaglione, Santulli, Silvestri, etc.

Kamtschatka, Kegel.

México, El Conde de la Cortina y J. Orozco y Berra.

Perú, De Castelnaud, Tirel, Paz Soldán y Rouand.

República Argentina, Gualterio G. Davis.

Siberia, Kehlberg.

Suiza, Merian y Otto Volger.

Venecia, Suess.

Venezuela, Rojas.

Etc., etc.

Los títulos de las series completan esta lista de nombres, cuyo conocimiento es tan interesante para los estudios seismológicos.

II. Distribución horaria diurna y nocturna de los movimientos.

La opinión de que los terremotos se producen sobre todo por la noche, es muy antigua y reina desde la clásica antigüedad. Jamás se le ha explicado de una manera satisfactoria, pues no honraré con la refutación la pretendida explicación que consiste en decir que, puesto que tiembla más en invierno que en estío, no debe sorprender que la noche, que es análoga al invierno (!), sea más favorable para la producción del fenómeno. Sin embargo, hace mucho tiempo que con motivo de los temblores de las Antillas, Sainte-Claire Deville y Poëy, han hecho notar que, libre el hombre durante la noche de ruidos y de las preocupaciones de la existencia y colocado además en una posición horizontal que lo pone en más íntima relación con el suelo, se encuentra en mejores condiciones que durante el día para sentir las ligeras oscilaciones. Esta opinión, muy racional, puede transformarse en certidumbre por el estudio de la relación $\frac{d}{n}$ de los movimientos diurnos y nocturnos.

Para algunas series de los dos primeros grupos, como Indos-

tán, México, Sicilia, Filipinas, España, Polinesia, Rusia de Europa, Célebes y Borneo, esta relación es casi la unidad. Hay que notar que esto se produce para series muy numerosas y para otras muy reducidas. En estas últimas puede observarse una cierta regularidad de distribución horaria, lo que puede atribuirse á que tiembla poco en las regiones correspondientes ó que se tienen pocos datos acerca de éstas. En estas condiciones los movimientos conocidos están repartidos en un largo espacio de tiempo y la casualidad los ha distribuído con bastante regularidad en las 24 horas.

Para estos dos primeros grupos el valor medio de la relación $\frac{d}{n}$ es de 0.75 y 0.78 respectivamente. En el tercer grupo esta relación llega hasta 2.71 en las Filipinas, pero es muy cercana á 1 para las Calabrias y las Marianas; su valor medio es 0.79. En el 4.º grupo encontramos 0.97 en Conrie (Escocia), 1 en Zanta y en las islas Sandwich, 1.06 para los ruidos subterráneos (retumbos) del Valle de la Visp. Para el conjunto el valor medio es 0.76. El 5.º grupo de las series volcánicas de poca duración nos da varios valores notablemente superiores á 1, lo que proviene de que, excepto en Christchurch (Hawai), las observaciones se hacen regularmente sólo durante el día. Para las series de las comisiones seismológicas (6.º grupo), la Sicilia, las Molucas y las Célebes dan valores superiores á la unidad, Java y Sumatra 0.94, Japón 0.86. El valor medio del grupo llega á 0.82.

Más adelante veremos lo relativo al 7.º ó importante grupo de los observatorios geodinámicos italianos.

Por el momento vemos, pues, que el valor 1 obtenido en algunas series de alto valor del 4.º grupo, un cierto número de valores ≥ 1 encontrarse en varios grupos y, en fin, esta relación crecer de 0.75 á 0.82 á medida que se pasa á grupos de valor científico creciente. Hay en ello una predominancia de un valor real igual á la unidad, es decir, distribución igual en el día y en la noche.

No me he contentado con esta primera indicación y he querido saber lo que daría el empleo de la escala Rossi-Forel de intensidades. En efecto, es evidente que las condiciones fisiológicas en las cuales se encuentra el hombre, relativamente á la observación de los terremotos, no tienen influencia sino para los de débil intensidad. Esta influencia se manifestará, pues, tanto más, cuanto los sacudimientos sean más ligeros, porque en efecto la relación $\frac{d}{n}$ apenas superior á 1 para las intensidades X y IX decrece con regularidad hasta 0.65 y 0.67 para las intensidades V y IV. Hay en esto, pues, una notable confirmación de la opinión de Sainte-Claire Deville y Poëy.

Las representaciones gráficas comprueban estas consideraciones. Haciendo á un lado las del grupo V de las series volcánicas, para las cuales las observaciones han sido mal hechas, excepto en las Islas Sandwich, y las del grupo VII de los observatorios geodinámicos italianos, de que nos ocuparemos después, se percibe claramente un máximo hacia las 3^h ó 4^h am. Después descende la curva rápidamente hasta el intervalo de las 7 y las 8, manteniéndose casi al mismo nivel hasta el medio día, volviendo á descender un poco y ascendiendo notablemente hasta el intervalo de 3^h á 4^h pm., baja de nuevo hacia las 6 pm., momento en que llega á su minimum. En seguida sube con rapidez hasta las 11½ y alcanza hacia la media noche y media hora un nuevo minimum que se encuentra casi á la mitad de la amplitud de estos diversos movimientos. Esta marcha común á las curvas de los grupos I, II, III, IV y VI, se observa naturalmente en la curva total y puede explicarse sencillamente. Hacia las 3^h am. los sentidos ya están bien reposados y perciben rápidamente las ondulaciones del suelo, tanto mejor cuanto que la mayor parte de las poblaciones está aún dormida. Un poco más tarde la actividad humana comienza con intensidad creciente y por esto multitud de choques débiles se pierden. Hasta medio día cambian poco las condiciones fisiológicas de la observación y la curva se conserva al mismo nivel. No se explica muy

bien en este orden de ideas el minimum que hacia el intervalo de 1^h á 2^h pm. sigue esta porción constante, pues ciertamente no es ese el momento de la mayor actividad humana, que parece estar colocada entre 7^h y 9^h am. De todos modos la curva alcanza otro máximo un poco más tarde; es la hora de reposo relativo en los países templados y de la siesta en los cálidos: la observación de los movimientos se hace mejor. La curva llega en seguida á su mayor minimum y de nuevo asciende regularmente durante toda la tarde y la primera parte de la noche, cuando, para una población dada, el número de personas que se dan al reposo aumenta gradualmente. El minimum relativo que sigue se explica porque en las horas del primero y más profundo sueño, los sentidos están muy fatigados para no dejar escapar un gran número de los sacudimientos pequeños. Este modo de considerar las particularidades muy generales de las curvas, me parece perfectamente racional y de tal naturaleza, que puede aceptarse para dar cuenta bien de los resultados de las estadísticas. Los estudios anteriores no dan más que una máxima nocturna y una mínima diurna. Se ve que este estudio penetra más profundamente en la naturaleza del fenómeno en cuanto á la influencia del modo mismo de observación sobre los resultados de las estadísticas.

Todas estas consideraciones concordantes muestran bien que:

Los movimientos se producen uniformemente tanto en el día como en la noche.

Los grupos 1 á 6, dando por término medio el valor 0.80 de la relación $\frac{d}{n}$, se puede admitir que este número representa la pérdida relativa de los movimientos diurnos causada por las condiciones fisiológicas de la actividad humana.

Se habrá notado que no he hablado de las series instrumentales del grupo 7º ni de las intensidades III á I. Sin embargo, parecería que ahí era en donde podría buscarse una notable confirmación de lo que acaba de asentarse. Pero los observatorios

de Acireale, Bolonia Rocca di Papa, Spinea di Mestre, Veletri, Verona y del Vesubio, dan una relación $\frac{d}{n}$ notablemente superior á la unidad. Llega á 2.04 en Roma y á 1.73 en Veletri. Para las intensidades III, II y I toma sucesivamente los valores crecientes 0.60, 0.73, 1.80. Hay además que observar que las series del grupo 7° producen 0.75 de los sacudimientos de intensidad III, 0.90 de las de intensidad II y la totalidad de los de I. En esto hay un hecho extraño, la relación $\frac{d}{n}$ en lugar de quedar igual á la unidad, aumenta notablemente y toma para el conjunto del grupo 7° el valor medio 1.49.

Mi primera idea ha sido atribuir esta anomalía al modo mismo de fraccionamiento de los observatorios italianos. Me parecía evidente que en ellos se limitaban á observar solamente en el día de una manera continua y regular. Comunicué esta cuestión al Profesor M. de Rossi, eminente seismólogo que dirige el servicio geodinámico en Italia, y me respondió categóricamente:

Todos los movimientos se obtienen por instrumentos registrados que funcionan de día y de noche.

Esta respuesta hace dudar de mi afirmación de igual distribución diurna y nocturna. Hay, pues, que hacer reservas en cuanto á las pequeñas oscilaciones de las intensidades III á I, porque no dejará de hacerse intervenir en su producción la acción directa del sol, pudiendo modificar su equilibrio la desigual dilatación de las capas terrestres externas. Debo observar, sin embargo, que en el Vesubio, en que las observaciones comprenden 21 años, de 1863 á 1885, sólo á partir de 1875 es cuando los fenómenos se presentan más frecuentemente en el día y hacia ese año es cuando aparecen los primeros seismógrafos muy sensibles. Me inclino á pensar que si las observaciones italianas dan una máxima diurna, se debe sencillamente á que reúnen á las oscilaciones sísmicas reales, toda clase de movimiento debido al hombre, carruajes y ferrocarriles, explosiones de mi-

nas, etc. En efecto, ya se sabe á qué distancias tan enormes se propagan estos movimientos, por los experimentos directos verificados en Nueva York y en el Japón. De manera que estoy enteramente convencido que si los observatorios en cuestión estuvieran establecidos en el campo, desaparecería esta anomalía de la predominancia diurna de los pequeños sacudimientos instrumentales, opinión corroborada por las curvas del grupo 7°, la cual asciende con mucha regularidad, después del intervalo de las 7^h á las 8^h am., hasta el de 10 á 11. Efectivamente, en este momento es cuando aumenta la actividad humana hasta el reposo relativo del medio día. Entonces es cuando los instrumentos registran muchas ondulaciones enteramente extrañas á los fenómenos sísmicos y debidos únicamente á la civilización.¹

III. Distribución de los movimientos con relación á las culminaciones lunares.

Perrey ha enunciado esta ley: los terremotos se verifican sobre todo en las cercanías de las culminaciones lunares. Encuentra por término medio para algunas series italianas y la de Arequipa (Perú, 1810-1845) el número 0.06 para el valor de la relación de la diferencia entre los números de movimientos á -45° y á $+45^\circ$ de la culminación superior á su número total. De lo que dedujo formalmente una relación de los movimientos terrestres con la posición de la luna con respecto al meridiano, y sus partidarios, más explícitamente que él, á una marea del núcleo terrestre interno supuesto aún fluido. Se le ha objetado lo reducido de la relación 0.06, pero no la aceptó, y me parece que con razón, desde el momento en que creía general

¹ La diferencia de algunas centenas entre la estadística horaria y la relativa á las culminaciones lunares de que me voy ya á ocupar, proviene de que no he podido comprender en la segunda varios movimientos ciertos, pero para los cuales subsiste una duda en cuanto al estilo empleado, juliano ó gregoriano; esto se ha presentado para los países de religión griega y para el siglo XVIII. En fin, los movimientos de hacia la media noche presentan casi siempre una indeterminación de 24 horas, que no permite hacerlos figurar en el estudio que sigue.