

BOLETÍN DEL OBSERVATORIO DEL EBRO

APÉNDICE AL VOLUMEN XXV

INFLUENCIA DEL SOL EN LA FRECUENCIA DE LOS TERREMOTOS

POR EL

R. P. Luis Rodés, S. J. †

Director del Observatorio del Ebro



IMPRENTA DE ALGUERÓ Y BAIGES

TORTOSA

1946

INFLUENCIA DEL SOL EN LA FRECUENCIA DE LOS TERREMOTOS

POR

LUIS RODÉS, S. J. (*)

Estadísticas homogéneas

Es evidente que, para hallar la correlación entre un fenómeno terrestre y una causa extraplanetaria, lo primero que se necesita es una larga serie de observaciones homogéneas que sirvan de base al estudio. Así, por ejemplo, limitándonos al caso de los terremotos, si el número de estaciones sísmicas, distribuidas a lo largo de la superficie del globo, ha ido aumentando de año en año, o los sismógrafos han ido perfeccionándose, adquiriendo sensibilidad mayor, es natural que el total de sacudidas registradas aumente también en la misma proporción, aun cuando, de hecho, pueda haber disminuído su número real. Ciertamente que de disponer de una serie de observaciones suficientemente larga, parecería, superpuesta al aumento progresivo, cualquier fluctuación real de carácter periódico en la frecuencia de los terremotos; pero como las estadísticas completas abarcan unos cuantos lustros tan sólo y el período de la actividad solar es de unos once años, no cabe duda de que, si aquéllas no son homogéneas, una disminución real en la actividad sísmica, podría ser compensada por una mayor sensibilidad de los aparatos, o por una distribución más densa de los mismos en las regiones de exploración. Creemos que nuestra estación del Ebro ofrece en este punto las máximas garantías si se tiene en cuenta que:

1.º Los terremotos, en número de 2.645, han sido registrados por un mismo sismógrafo, tipo Mainka-Ebro (1), sin que durante el período de 24 años (1914-1937), a que se extienden nuestras estadísticas, hayan cambiado en nada ni las condiciones de instalación ni sus características de sensibilidad y aumento.

2.º Los sismogramas han sido leídos por el mismo observador (2) durante todo el período indicado, y sin prejuicio alguno posible que pueda viciar los resultados, ya que las lecturas fueron hechas diariamente con toda independencia del fin que nos proponemos en este trabajo.

Otra ventaja para nuestras estadísticas, proviene del emplazamiento mismo de nuestra estación, que se halla suficientemente alejada de toda región sísmica, cuya

(*) Véase la Advertencia preliminar.

(1) Las características son: $M = 1500,9 \text{ Kg.}$; $T_0 = 14,8 \text{ s.}$; $V = 200$.

(2) D. José Blanch Blanch, a quien me complazco en expresar aquí mi gratitud por la fidelidad de sus medidas y por la ayuda prestada al autor en la preparación de este trabajo.

actividad local podría ejercer efecto preponderante en el número de terremotos registrados y desfigurar así los resultados de un carácter más universal. Es seguro que si comparamos los datos de diferentes estaciones, el año de máxima o mínima frecuencia de terremotos será diferente según se base nuestra curva en los registros del Japón o de los Andes o del Vesubio. ¿A cuál daremos preferencia en una estadística de carácter mundial, hecha con miras a poner de relieve el influjo de una causa extraplanetaria, si es que la hay? Un promedio basado en los datos de todas las estaciones constituye, desde luego, una buena solución; pero fuera de la dificultad arriba apuntada sobre el continuo progreso en el número y sensibilidad de los sismógrafos, en una estadística general pueden siempre intervenir factores de carácter subjetivo, que no presentan las garantías de uniformidad y constancia propias de los datos recogidos por un solo aparato en una misma estación, y que constituyen, por lo mismo, cual la nuestra, una estadística seleccionada y rigurosamente objetiva sobre el conjunto de la actividad sísmica de toda la tierra.

Período secular

Los datos relativos al período de 24 años, 1914-1937, vienen dados en la curva (fig. 1.^a). Desde luego se observa que la frecuencia de los terremotos no guarda relación alguna con la curva de actividad solar (Ebro-Rodés: flocculi relacionados con manchas), que sigue un curso del todo independiente en los dos ciclos completos

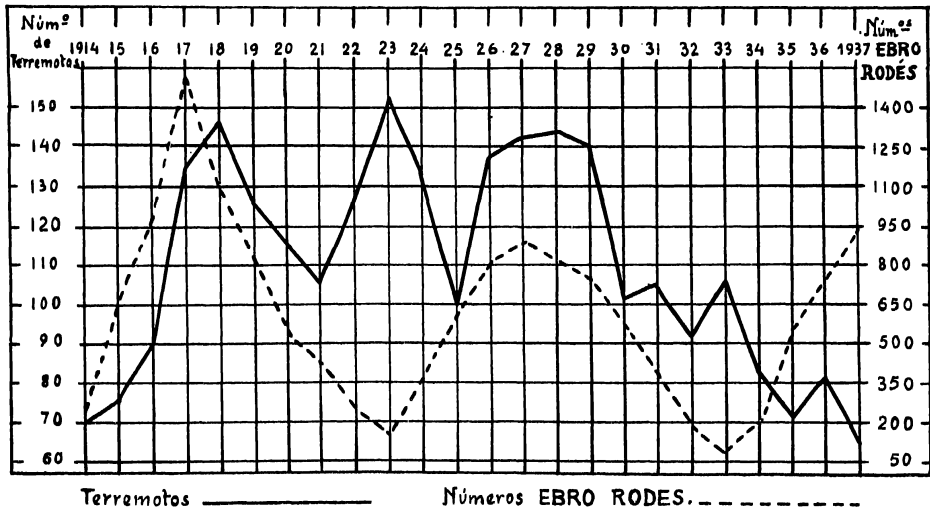


FIG. 1.^a

comprendidos dentro del período estudiado. Esta conclusión no por ser negativa, es de menor valor científico, y quita todo fundamento a la pretendida relación que han querido hallar algunos entre las manchas solares y los terremotos. En particular la notable baja en la frecuencia de los terremotos precisamente el año 1937 en que el Sol presentó algunas de las manchas más conspicuas que se hayan registrado jamás en su superficie, y el curso inverso durante el máximo de actividad del anterior ciclo en 1927-1928, es argumento suficiente para renunciar del todo a una investigación en este sentido.

Lo que más resalta en la curva es la gran amplitud de la variación, con mínimos, que para los últimos cuatro años arrojan un promedio de 72 temblores por año, y máximos, como el de los cuatro años 1926-1929, que alcanzan un valor hasta 100 % superior.

También descuellan tres o cuatro máximos secundarios a un intervalo de cinco años; pero ni su forma es del todo definida ni el período de tiempo abarcado por las estadísticas es suficientemente largo para darles un significado real; tampoco ofrece la Astronomía un período adecuado que pueda darle base.

Período anual

Si nuestras estadísticas no dejan entrever ningún período de carácter secular, muestran en cambio muy definido el período anual en la frecuencia de terremotos, con un mínimo de 455 durante los tres meses de invierno: Diciembre, Enero y Febrero; contra un máximo de 847 en los tres meses de verano: Junio, Julio y Agosto; el exceso es de un 86 %, y basta ver la forma de la curva para cerciorarse de su carácter real (fig. 2.^a). Procediendo de cinco en cinco años, el paralelismo con el curso anual de la

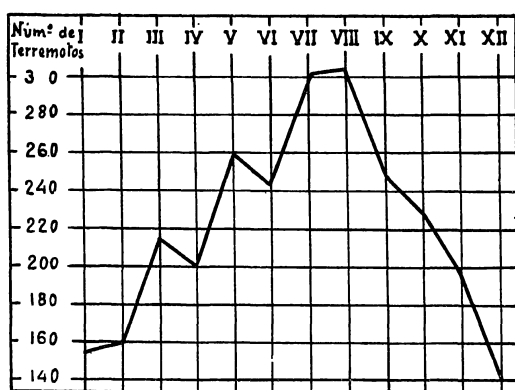


FIG. 2.^a

temperatura se va acentuando en cada uno de los grupos y para el período total de 24 años, la correlación entre ambas curvas resulta del todo manifiesta.

Tenemos, pues, el hecho plenamente establecido de que un sismógrafo aislado de todo centro local de perturbación registra mayor número de temblores en los meses de verano para el hemisferio norte que en los meses de invierno; esto prueba la influencia directa o indirecta del sol en la causa productora de los terremotos. ¿Es este influjo de carácter gravitatorio o de carácter térmico? Sin ningún género de duda nos decidimos por lo segundo, ya que si fuese efecto de las variaciones de la fuerza de atracción, o sea un efecto de marea, la luna, cuyo influjo excede en intensidad, más de dos veces, al del sol, debería ejercer una acción preponderante, contra lo que demuestran los hechos.

El efecto ha de ser, pues, de naturaleza térmica y debido a los cambios de intensidad en la radiación solar recibida por la superficie terrestre. Es cierto que la variación anual de la temperatura desaparece del todo a unos 25 o 30 metros de profundidad, pero no puede afirmarse lo mismo de las presiones y tensiones originadas por la dilatación y contracción de las capas superficiales, expuestas a cambios duros de temperatura que pueden alcanzar varias decenas de grados; tales presiones y tensiones, que no pueden menos de producirse en una corteza sólida compuesta de

materiales cuyo volumen es función de la temperatura, si bien consideradas en sí mismas y por unidad de superficie, son imperceptibles e insignificantes, pueden no obstante alcanzar valores enormes cuando se trata de grandes extensiones insulares o continentales.

Son además perfectamente conocidos los tipos de microsismos debidos a cambios de temperatura y ciertamente no vemos la razón por qué, según han querido varios autores, una causa capaz de poner en vibración estable y duradera regiones de gran extensión superficial, no puede actuar asimismo como determinante para que entren en juego otras causas de mayor potencia provocadoras del terremoto en capas más profundas de la corteza terrestre. No se trata de que el calor sea la causa adecuada del terremoto, sino una causa meramente *provocativa*, como lo es la percusión del pistón en la velocidad adquirida por la bala de cañón; el estrato geológico en equilibrio inestable, o sus tensiones internas en las cercanías del valor límite de resistencia, estaban ya latentes en la región hipocéntrica del terremoto y éste no necesitaba más que un estimulante, para ser producido, cual *trigger effect*, efecto-gatillo, de los cambios de temperaturas en las capas superficiales y su repercusión mecánica en otras más profundas con las cuales están solidariamente unidas. Tampoco sostenemos que el efecto térmico intervenga en todos los terremotos, sino sólo en algunos, los suficientes para explicar los hechos puestos de relieve por nuestras estadísticas.

La mayor frecuencia absoluta de terremotos en los meses de verano con declinación positiva del sol, queda perfectamente explicada en nuestra hipótesis, por la mayor extensión de los continentes en el hemisferio norte con relación a los del hemisferio sud; es evidente que siendo la capacidad calorífica de los continentes mucho menor que la del agua, están, por lo mismo, más expuestos a los cambios de temperatura que no los mares que se calientan y enfrían con mucha mayor dificultad; además, por el hecho de estar flúidos, las dilataciones y contracciones originadas por los cambios de temperatura no producen en ellos las presiones y tensiones propias de los cuerpos sólidos. Resulta, pues, del todo congruente que la máxima frecuencia de temblores en la superficie del globo se registre precisamente en la época del año en que los rayos del sol actúan con más intensidad sobre el hemisferio norte.

Hemos dicho en la superficie del globo, ya que para un registro limitado a una región determinada o integrada con un predominio de datos provenientes de la misma, la influencia del factor local en los cambios de temperatura puede invertir los resultados; así en nada se opondría a nuestra tesis el que las estadísticas de alguna estación sísmica situada, por ejemplo, en la vertiente de los Andes y en la que figurasen todas las sacudidas de carácter local, presentasen un máximo en los meses correspondientes al invierno del hemisferio norte, pero que son los de máximo calentamiento de dicha cordillera en el hemisferio sud; de ahí la ventaja que, como dijimos, representa un sismógrafo suficientemente alejado de todo foco perturbador, para que sus datos puedan considerarse como imparcialmente recogidos y reflejo de la actividad sísmica de toda la tierra.

Período diurno

Es también muy marcado y constituye un argumento en favor del efecto térmico. Las curvas de las figuras 3.^a y 4.^a muestran el número de terremotos registrados por nuestro aparato en cada una de las horas del día, la una por separado y la otra tomadas de cuatro en cuatro, durante un período de 24 años; el valor máximo, 539, para las cuatro horas desde las 18 hasta las 22 h., supera en 61 % al valor mínimo, 335, registrado desde las 6 hasta las 10 h. Dado el elevado número de terremotos que han intervenido en la estadística, 2.645, y la amplitud de la onda, queda patente

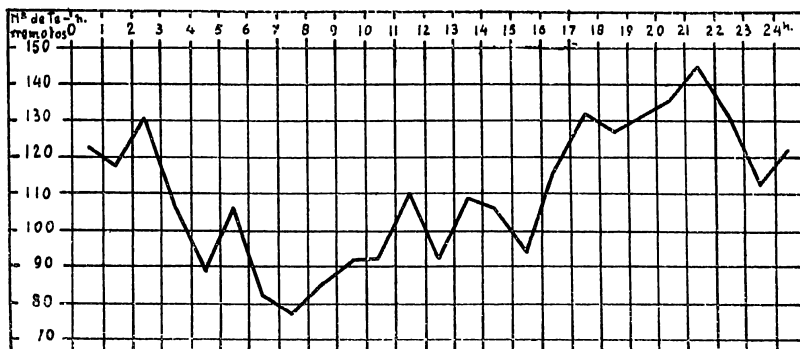


FIG. 3.º

que el resultado no puede atribuirse a la casualidad, sino que reconoce una causa real, y ésta no puede ser otra que la rotación de la tierra con respecto del sol.

Si la corteza terrestre fuese homogénea en toda su extensión, y por consiguiente la acción del sol uniforme a lo largo de la superficie del planeta, el período diurno no se podría manifestar, como tampoco el anual; pero así como el predominio de los continentes en el hemisferio norte es causa de una mayor frecuencia de terremotos durante la mitad del año en que la declinación del sol es positiva, así la existencia de regiones de mayor actividad sísmica alternando con otras inactivas como los mares, a lo largo de un mismo paralelo, da origen a la variación diurna, que corresponde a las

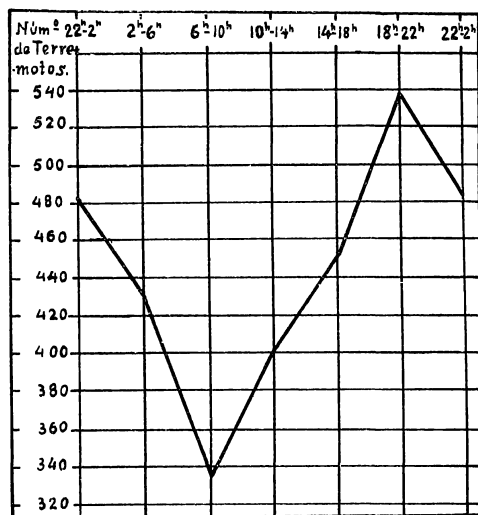


FIG. 4.º

diversas regiones que, arrastradas por la rotación del planeta, van recibiendo la influencia del calor solar.

Basta una mirada a la esfera terrestre para darse cuenta de que durante la mitad del período diurno, de 16 h. a 4 h., en que la frecuencia sísmica es más elevada, pasan sucesivamente por delante del sol la gran Cordillera de los Andes, las Montañas Rocosas y la Sierra Nevada, las islas Aleutinas, Hawai y otras islas del Pacífico, las Kuriles, el Japón, Nueva Guinea, Filipinas y la costa oriental de China, es decir, la gran mayoría de las zonas sísmicas del globo; mientras que durante la otra mitad, 4 h. a 16 h., pasan por delante del sol el Continente asiático y el europeo, el Océano Índico, el gran Continente africano, el Océano Atlántico y la región oriental de la América

del Sud, donde los focos de actividad son menos numerosos y de menor extensión e importancia (1). Los resultados, pues, de nuestras estadísticas, corresponden en todo a las previsiones que podía adelantar nuestra hipótesis sobre el influjo del calor solar en la causa determinante de los terremotos.

Aun podemos confirmar nuestras conclusiones con el resultado de otra estadística de carácter local que servirá al mismo tiempo para aclarar y evitar alguna confusión que pueda introducirse en una investigación de este carácter. Al limitar nuestras entradas a aquellos terremotos cuyo epicentro dista del Observatorio menos de mil kilómetros, encontramos un máximo de 80 entre 15 y 18 horas, poco después de la temperatura máxima local, y un mínimo de 43 entre 5 y 8 horas que corresponde a la temperatura mínima; es decir, que la frecuencia máxima que, para los terremotos de todo el globo, se registra entre 19 h. y 23 h., se ha corrido cuatro horas, al limitar la estadística a los temblores cercanos en consonancia con lo que hacía prever el efecto térmico.

Discusión y conclusiones

Tenemos, pues, tres argumentos independientes que concuerdan al señalar un influjo solar en la frecuencia y, por consiguiente, en la causa determinante de los terremotos: a) mayor número de terremotos durante la mitad del período anual en que el sol cae al norte del ecuador, o sea en el hemisferio donde abundan los continentes, más sensibles al efecto térmico; b) mayor número de terremotos, atendida toda la superficie del globo, en el intervalo del período diurno que corresponde al paso de las regiones de mayor actividad sísmica por delante del sol, y c) mayor número de terremotos locales en las horas inmediatas a la temperatura máxima.

Creemos que el no haber distinguido bien entre hora local y hora absoluta, terremotos locales y terremotos mundiales, ha sido causa de heterogeneidad de los resultados obtenidos por diferentes autores. En la mayor parte de las estadísticas sobre el período diurno en la frecuencia de los terremotos, sus autores se han limitado a investigar si ocurrían en mayor número de noche que de día, pero es evidente que, aun en el supuesto de un máximo diurno real y bien definido, cual el que creemos haber hallado, tal máximo se registrará a diferentes horas del día y de la noche locales, según la longitud de las estaciones sísmicas en que se basan las estadísticas, y en el caso de que éstas se hallasen uniformemente distribuidas en la superficie del globo, y se analizasen sus datos desde el punto de vista de la hora local, es evidente que no podría resultar del conjunto de todos los datos ningún máximo diurno ni nocturno, ya que a la hora del máximo real, para una mitad del globo es de noche y para la otra es de día; esto puede explicar los resultados nulos a que han llegado diversos autores y en particular Montessus de Ballore en una discusión de unos 45.000 temblores.

Si en las estadísticas predominan los registros obtenidos en las estaciones de Europa y se extienden a toda clase de terremotos, como el máximo real coincidente con el paso de las regiones de mayor actividad sísmica por delante del sol, tiene lugar de noche para estas regiones, se manifestará en un exceso de terremotos registrados durante la misma, de conformidad con las conclusiones a que han llegado multitud de investigadores y que han creado la opinión tan extendida de que los terremotos ocurren preferentemente de noche. La explicación dada por varios sismólogos, según

(1) Estas conclusiones fueron publicadas por primera vez en «Comptes Rendus», t. 30, p. 422, 1930. Fueron presentadas en la cuarta sesión de la Sección de Sismología de la U. I. de G. y G. el día 19 de Agosto de 1930, en la conferencia de Estokolmo; y reproducidas en «Gerlands Beiträge zur Geophysik», t. 38, p. 238, y en «A terra», 1931.

la cual la mayor frecuencia es puramente aparente y debida a las mejores condiciones de observación durante la noche, no tiene, desde luego, aplicación cuando se trata de registros basados en datos instrumentales, únicos a nuestro juicio que pueden servir de base a estadísticas de carácter demostrativo.

Si además las estadísticas se basan en los datos procedentes de estaciones distribuidas en las proximidades de un foco de actividad sísmica, la hora del máximo local podrá coincidir con la hora del mínimo que podríamos llamar planetario, compensándose así la diferencia y allanando la curva diurna, a no ser que se construya separadamente para las dos clases de terremotos cercanos y lejanos. Cuando, como en el caso del Ebro, la estación está suficientemente apartada de todo foco de actividad, no hay peligro de que el pequeño máximo local desfigure la onda debida al máximo y mínimo planetario. En todo caso creemos que las estadísticas no deben hacerse a base del día y de la noche, sino separadamente a base de horas, con lo que se evita el grave error que puede introducir en los resultados la desigual distribución entre día y noche, cuyos límites son bastante arbitrarios (1).

En cuanto a la onda anual en la curva de la frecuencia de terremotos procedente de nuestro registro, no sabemos haya sido impugnada por nadie y no conocemos otra explicación de la misma que la formulada en las páginas que preceden; pero al período diurno se han puesto tres reparos: 1.º inadecuada división entre las horas del día y las horas de la noche; 2.º pérdida de algún terremoto durante el cambio del papel registrador que se cambia de día; 3.º posible mayor número de microsismos durante las horas del día que dificultan el identificar las ondas del terremoto y disminuyen aparentemente su frecuencia.

En cuanto al primer reparo, queda completamente desvanecido con sólo ver la forma de la curva; no se trata de una división arbitraria del período diurno, sino de una variación progresiva que pasa por un máximo y un mínimo bien definidos y de una amplitud que no cabe dentro del efecto casual. No es más consistente el segundo reparo si se tiene en cuenta que, cambiando las gráficas entre 8 h. y 9 h., lo más que podría ocurrir en el caso de que se perdiese algún terremoto durante el intervalo de la manipulación instrumental, sería que la frecuencia registrada durante esta hora fuese algo inferior a la real, sin que por esto quedase modificada la forma de la curva; pero precisamente el mínimo para nuestra estación cae entre 7 h. y 8 h., y no entre 8 h. y 9 h. en que se cambia la gráfica, con lo cual cae por su base la objeción. Por lo demás, el disponer de un doble juego de tambores reduce la manipulación instrumental al mero cambio de un tambor por otro con el papel de la gráfica ya preparado, de suerte que el intervalo de tiempo sin registro no excede casi nunca del minuto; aun en el caso más desfavorable de un pequeño terremoto local cuyo registro no excediese el minuto, la probabilidad de perderlo no pasaría de 1/1440, con una influencia nula en el resultado de las estadísticas. Otras interrupciones más largas debidas a reparaciones del instrumento, fuera que han sido muy raras, lo mismo han ocasionado fallos en unas horas que en otras, y no cuentan en el registro.

Queda el tercer reparo sobre la posibilidad de que la mayor frecuencia de microsismos, a determinada hora local, dificulte la lectura de la gráfica y sea causa

(1) Creemos que el distinguido sismólogo G. Agamennone, al comentar nuestro trabajo aparecido en «Publications du Bureau Central Séismologique», Serie A, fasc. 7, no ha tenido bastante en cuenta la distinción entre terremotos locales y terremotos de todo el globo; el mismo autor es ejemplo de cómo pueden hacerse variar los resultados, según el criterio que prevalezca al dividir día y noche, razón por la cual nosotros adoptamos la distribución por horas; por lo demás dicho autor, al distribuir los datos de A. Cavasino sobre la frecuencia de las réplicas del gran terremoto marsicano del 13 de Mayo de 1915, llega a la conclusión de que existe un pequeño exceso diurno, lo cual, tratándose de terremotos cercanos, está muy en consonancia con nuestra tesis y con los resultados hallados en Tortosa. Lamentamos no se den en este trabajo los datos horarios que permitirían precisar mejor la hora del máximo local en función de la temperatura. Véase «Rendiconti della R. Accademia Nazionale dei Lincei», Vol. XVII, serie 6.ª, primer sem., fasc. 10.

de que pasen inadvertidos algunos terremotos, que pueden distinguirse muy bien en horas de calma; esta fuente de error podría tener un efecto real y por esto vamos a discutirla con alguna mayor detención.

De los diversos tipos de microsismos registrados en nuestra estación, los únicos que, por su gran amplitud e irregularidad, pueden desfigurar las ondas de un terremoto lejano, son los debidos a los vendavales del NW que soplan con tanta frecuencia en la cuenca inferior del Ebro. Afortunadamente poseemos de la Sección Meteorológica (1) la curva de la frecuencia con que se han presentado las velocidades máximas del viento NW en las distintas horas; comparada con la que da la frecuencia de terremotos, se ve que, aun cuando hay alguna analogía aislada, no pueden tomarse como correlativas, ya que las velocidades máximas se registran con mayor frecuencia de 8 h. a 9 h. y de 9 h. a 10 h., mientras que el mínimo de terremotos tiene lugar entre 6 h. y 7 h. y 7 h. y 8 h.; de la misma manera, las horas en que las velocidades máximas del viento se registran con menor frecuencia son de 11 h. a 12 h. y de 12 h. a 13 h., mientras que el máximo de terremotos se registra entre 18 h. y 23 h. Como la correlación entre las velocidades del viento y los microsismos es evidente, se sigue que éstos, al igual que el viento, no pueden tomarse como causa, por lo menos adecuada, de la variación diurna en la frecuencia de los terremotos. Por lo demás, a un lector experimentado no es tan fácil se le escapen las ondas de un terremoto, por muchos microsismos que haya; podrán éstos dificultar el estudio de las fases, pero la mera presencia de las mismas difícilmente podrá pasarle inadvertida.

Creemos, pues, que queda suficientemente establecida la realidad de la variación diurna en la frecuencia de los terremotos, contra todas las objeciones que contra ella se han formulado.

Observatorio del Ebro, Marzo de 1938.

(1) Véase «Contribución al estudio climatológico de la comarca de Tortosa», Tortosa, Algueró y Baiges, 1936, pág. 29.