

COMPONENTES NO TRADICIONALES EN LA OCURRENCIA DE SISMOS EN EL NOA

Lidia M. Benítez¹ y Otón M. Grimolizzi^{1, 2}

¹ Instituto de Riesgo Geológico y Sistematización Territorial (IRGIST) – Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo – Universidad Nacional de Tucumán, Miguel Lillo 205, Tucumán, Argentina
lidiabenitez@hotmail.com

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina
grimolizzi@ol.com

INTRODUCCIÓN

Se está realizando un estudio estadístico de sismos profundos en la región del NOA (Noroeste argentino), con intensidades mayores que 4 en la escala Richter y en la franja de latitudes entre 22° S y 28° S y longitudes entre 63° O y 68° O. Inicialmente se trataron 10 años, de 1980 a 1989. El análisis de la ley de ocurrencia de terremotos determinó los valores de los parámetros de la ecuación de Gutenberg Richter (1954) y permitió estimar los tiempos de recurrencia de sismos en la región, resultado verificado con los históricos no incluidos en el análisis. En el 80% de las regiones - clasificadas según la profundidad del hipocentro – el tiempo de recurrencia calculado localmente coincide o resultó un valor muy aproximado, en el orden del 10%, con los observados históricamente.

Tres componentes no tradicionales han sido estudiadas para verificar su efecto en la producción de estos sismos y, eventualmente, señalar las discrepancias. Las componentes analizadas son: los efectos de la atracción lunar, del derretimiento de hielos antárticos y el cambio en la inclinación del eje de rotación de la Tierra, este último teniendo en cuenta el reciente sismo del 27 de Febrero de 2010 en la región del Maule, Chile.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon técnicas estadísticas tradicionales en el estudio de las series de datos proporcionadas por el United States Geological Survey (USGS), publicados en su página. En la inspección de las series de sismos por cambios de orientación en el eje de la tierra, se empleó la técnica de análisis de clusters. Una sencilla tabla de frecuencias críticas permitió evaluar de manera preliminar el efecto de los aportes del derretimiento de la Antártida por calentamiento global.

RESULTADOS

LA ATRACCIÓN GRAVITATORIA LUNAR

La luna es responsable de fuerzas de marea que afectan aire, mar y tierra, siendo esta última la de menor amplitud (hasta unos 30 cm). Estas fuerzas suman sus efectos a los de los mecanismos que mantienen caliente y líquido el magma terrestre, causa primaria de los sismos, Berkland (1989), Bagby (1975), Hamblin (1975), Montgomery (1987). En los 10 años estudiados ocurrieron 413 sismos en la región NOA, de los cuales el 56% se dio en alguna fase de la luna combinada o no con los puntos extremos orbitales (apogeo y perigeo) admitiendo un margen de tolerancia de ± 2 días.

Los datos de frecuencias de sismos a lo largo de estos 10 años fueron agrupados en dos muestras, una con la ocurrencia de sismos en ninguna situación relacionada con fases de la luna o apogeo y perigeo y la otra compuesta con la ocurrencia de sismos en alguna de las situaciones nombradas. En esta tabla de contingencia, los años analizados se arreglan en filas y las distintas situaciones: Apogeo, Perigeo, Luna Nueva, Luna Llena, Apogeo Luna Llena, Apogeo Luna Nueva, Perigeo Luna Llena, Perigeo Luna Nueva y Ninguna situación en las columnas; la frecuencia de sismos en cada caso constituye el cuerpo de la tabla. El test estadístico no paramétrico conocido como Prueba de Wilcoxon para datos

apareados, comparando año por año, dio como resultado $W=82$ con $p=0.08 < 0.10$, es decir: hay diferencia estadísticamente significativa entre ambas muestras a un nivel de significación del 10%, presentando en general más sismos en alguna situación.

La Tabla 1 se refiere a una prueba de homogeneidad - chi cuadrado - entre los años respecto a la distribución de la frecuencia de sismos en las distintas situaciones. Dio como resultado $\chi^2 = 106.84$, con un valor de $p = 0,0048 < 0,01$. Se rechaza entonces la hipótesis de homogeneidad entre los años a un nivel del 1%; es decir que la respuesta de estos 10 años no es homogénea respecto a la ocurrencia de los sismos en Apogeo, Perigeo, Luna Nueva, Luna Llena, Apogeo Luna Llena, Apogeo Luna Nueva, Perigeo Luna Llena y Perigeo Luna Nueva y Ninguna situación.

Tabla 1

Año	perigeo	apogeo	Nueva	Llena	per-N	per- LL	Apog-N	Apog-LL	Ning situación
1980	8	2	4	4	0	4	1	0	14
1981	10	3	8	9	2	2	1	1	22
1982	7	5	7	3	2	2	0	1	13
1983	3	10	6	8	1	0	2	4	18
1984	12	14	9	6	5	3	0	1	18
1985	5	6	7	11	0	2	0	2	26
1986	10	2	13	8	3	2	0	0	15
1987	7	8	12	9	1	2	4	0	18
1988	11	10	6	10	2	6	0	1	16
1989	5	4	8	3	2	2	0	0	21

La tabla de contingencia siguiente (Tabla 2) se construyó para determinar si hay independencia entre las fases de la luna y los extremos orbitales. Se construyó contabilizando la frecuencia de sismos que se dan en la combinación de situaciones, completándose así el cuerpo de la tabla.

Tabla 3

	Luna Nueva	Luna Llena	Ninguna	Total
Perigeo	18	25	35	78
Apogeo	8	10	46	64
Ninguna	54	36	181	271
Total	80	71	262	413

Se usó la prueba de independencia dando como resultado $\chi^2=20.11$ con $p=0,0005 < 0.01$, lo que determina que se rechaza la Hipótesis Nula de independencia. Se concluye que están asociadas las distintas situaciones a un nivel de significación del 1%, es decir que si el sismo ocurre en alguno de los extremos orbitales, está asociado con luna llena, nueva o, en caso contrario con ninguna.

LAS VARIACIONES EN LA INCLINACIÓN DEL EJE DE LA TIERRA

El sismo del 27 de febrero de 2010 fue seguido por otro sismo el 11 de marzo. Los análisis sismológicos de los patrones de onda y ubicaciones del hipocentro determinaron que se refiere a un evento independiente. Sin embargo, es muy probable que haya sido muy influenciado por los cambios en las tensiones tectónicas generadas por el primer sismo. Es decir que de manera inmediata al sismo del 27 de febrero como en los meses subsiguientes es esperable un aumento de actividad sísmica.

La figura 1 muestra el diagrama de dispersión para la ocurrencia de sismos para el evento del 27 de febrero de 2010 en la región del Maule, Chile, luego de un período de inactividad. El diagrama correspondiente a la región del NOA argentino (incluyendo sismos profundos), se muestra en la figura

2. Se distinguen allí tres clusters, dos muy próximos, en una estructura que abarca un intervalo de 200 días y que no se repitió en algo similar para los diez años tratados inicialmente.

Figura 1

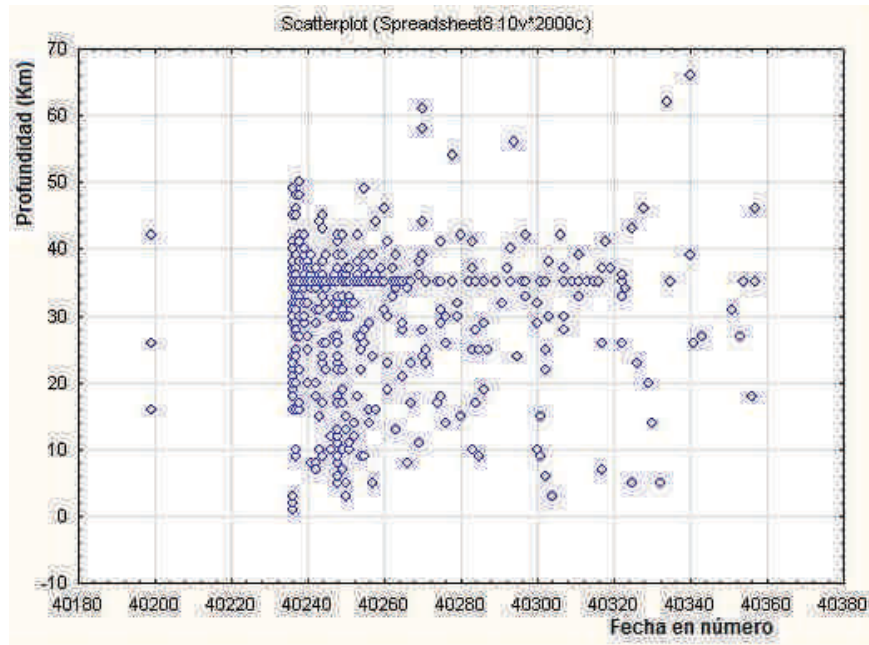
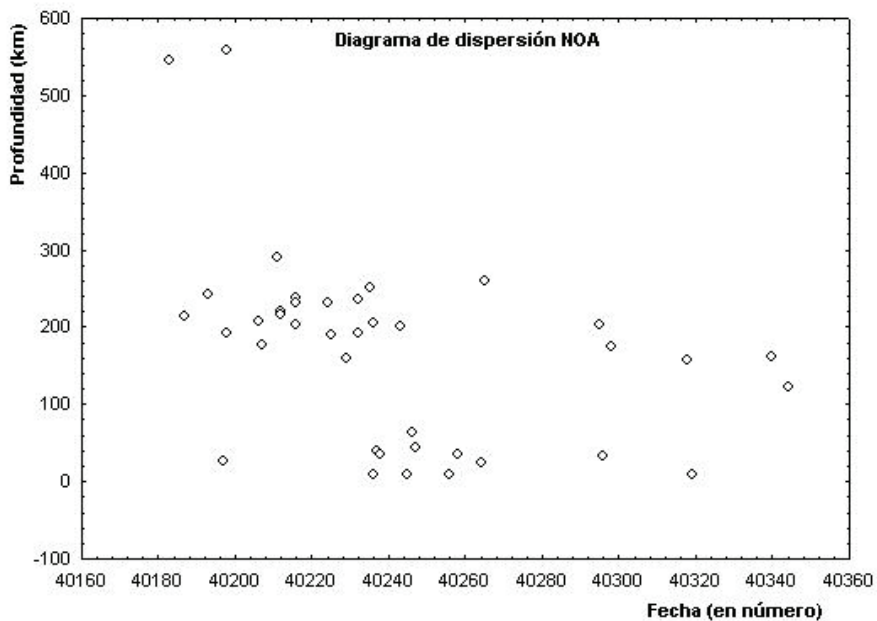


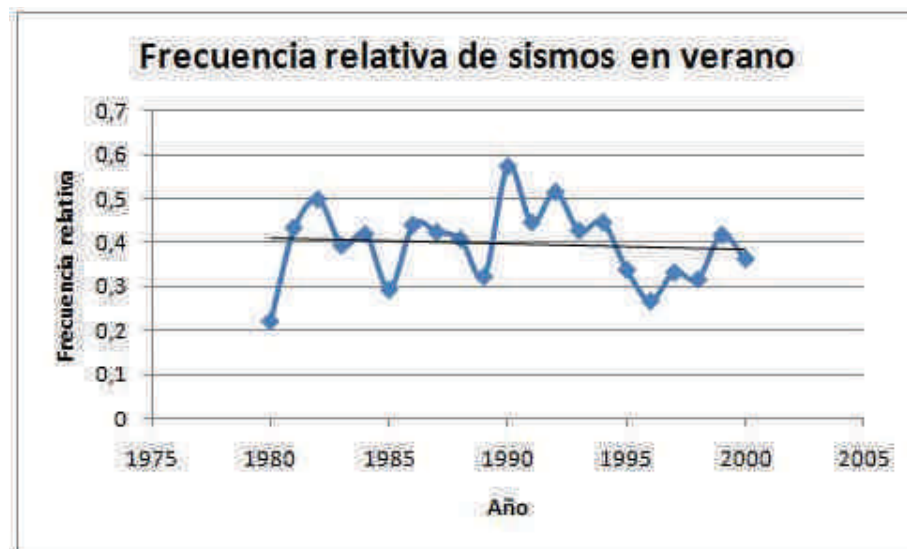
Figura 2



EL DERRETIMIENTO DE HIELOS ANTÁRTICOS

Al congelarse el océano durante los meses de invierno, la superficie continental antártica crece en unos 20 millones de Km^2 , adicionales. Luego, en verano, al fundirse gran parte del hielo queda solamente en 3 millones de Km^2 (Instituto Antártico Chileno, 2008). Existen especulaciones acerca de cómo este derretimiento se vería reforzado por el calentamiento global; el excedente de peso actuaría sobre las placas y aumentaría la frecuencia de sismos (Figura 3).

Figura 3



DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La luna es responsable de fuerzas de marea que afectan aire, mar y tierra, siendo esta última la de menor amplitud (hasta 30 cm). Estas fuerzas contribuyen con los efectos de los mecanismos que mantienen caliente y líquido el magma terrestre, causa primaria de los sismos, Berkland (1989), Bagby(1973, 1975), Hamblin (1975), Montgomery (1987). Estos efectos no pueden descartarse totalmente a la luz de su significancia estadística dentro del 10% frente a otros considerandos atinentes, por ejemplo a la verificación de la ecuación de Gutenberg-Richter. Se propone afinar el estudio a fin de incluir, por ejemplo, alineación solar.

Los clusters de las figuras 1 y 2 indican una posible correspondencia entre el sismo de la región sur chilena y los producidos en esa fecha en el NOA. Hay 3clusters en dos franjas de profundidades subsiguientes a los dos sismos profundos. Este patrón no se repitió en el span de datos analizados.

La figura 3 permite aseverar que no hay mayor cantidad de sismos en verano que en invierno pues el cambio de estaciones no parece afectar la frecuencia de estos eventos. La figura comprende 20 años de. La suave pendiente negativa ($m = -0,012$) de la línea de tendencia contradice cualquier efecto de este mecanismo sobre la frecuencia de ocurrencia de sismos

REFERENCIAS

- Bagby, J.P. 1975. Sunspot cycle periodicities. *Nature*, 253 (5491): 482-489.
- Berkland, J. 1989 Syzygy and earthquake warnings, *Gilroy Dispatch*, 13 de octubre de 1989, Gilroy, California, USA.
- Gutenberg B. y Richter, C.F., 1954, *Seismicity of the Earth and Associated Phenomena*, 2nd ed. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 17–19.
- Hamblin, W.K. 1975 *The Earth's Dynamic Systems*, Burgess Publishing Co.
- Instituto Antártico Chileno, 2008 *Introducción al conocimiento antártico*
<http://albaiivan.tripod.com/ejer1/hieloantartico.html>
- USGS National Earthquake Information Center – NEIC, <http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/> y http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/epic_rect.php
- Montgomery , C.W. 1987. *Physical Geology*, William C. Brown Publishers.