

ENERGÍA DEL TERREMOTO

Cuando se produce un terremoto, la mayor parte de la *energía* de deformación acumulada en la roca se disipa en calor, y una fracción menor es irradiada en forma de ondas sísmicas.

A partir de mediciones realizadas de la *energía* de las ondas sísmicas producidas por fracturas repentinas, se estima que, la *energía* liberada, por año, por los terremotos en todo el mundo, oscila entre 10^{25} y 10^{26} ergios (Bolt, 1993).

Si bien la escala de *Magnitud* compara cuantitativamente grandes y pequeños terremotos, dice muy poco acerca de las particularidades físicas de la fuente. Por lo tanto, para tener una mayor precisión de las características sísmicas, es necesario relacionar la escala de magnitud a un parámetro físico básico como lo es la *energía*. Si bien dicha correspondencia no resulta muy exacta, aun así es de utilidad para estimar la cantidad de energía liberada por los terremotos.

La relación que los sismólogos indican como la más adecuada entre la *Magnitud* de las ondas superficiales (M_S) y la *energía* liberada E_S (en ergios), es la obtenida por Gutenberg y Richter (1956) (**ec. 1**):

$$\log. E_S = 11,8 + 1,5.M_S \quad (1)$$

Se debe tener en consideración que E_S no resulta el total de la energía "intrínseca" liberada por un terremoto, es solamente la cantidad de energía radiada en forma de ondas sísmicas, la cual representa solamente una pequeña fracción del total de la energía transferida durante el proceso de ruptura de un terremoto.

Por lo tanto, a partir de la ec. 1, un terremoto de magnitud Richter 5,5 resulta tener una energía de aproximadamente 10^{20} ergios; y se observa que si M se incrementa en una unidad, la energía E es magnificada por un factor de $10^{1,5}$, es decir casi 32 veces, (**Tabla 1**).

A modo de comparación, la energía que los físicos nucleares calcularon que se liberó en la primera explosión atómica subterránea de prueba llevada a cabo en el atolón de Bikini en el año 1946, fue de aproximadamente 10^{19} ergios (Bolt, 1993); equivalente a una magnitud de 4,8. La misma produjo una columna ascendente de 10 millones de toneladas de agua, de 600m de ancho en su base y 1.500 m de altura, (**Figura 1**).

Magnitud M	Energía (ergio)
8,5	$3,6 \times 10^{24}$
8,0	$6,3 \times 10^{23}$
7,5	$1,1 \times 10^{23}$
7,0	$2,0 \times 10^{22}$
6,5	$3,6 \times 10^{21}$
6,1	$8,9 \times 10^{20}$ (Hiroshima)
6,0	$6,3 \times 10^{20}$
5,5	$1,1 \times 10^{20}$
5,0	$2,0 \times 10^{19}$
4,8	$1,0 \times 10^{19}$ (Bikini)
4,5	$3,6 \times 10^{18}$
4,0	$6,3 \times 10^{17}$

Tabla 1: Magnitud y energía liberada equivalente. (K. Kasahara, 1981).

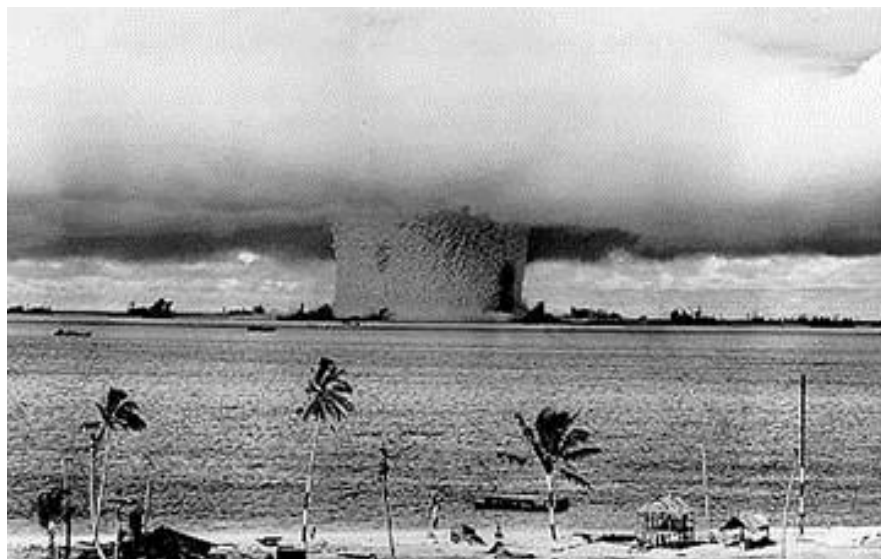


Figura 1: Primera explosión nuclear submarina (Bikini 24-07-1946). La energía liberada estimada fue de $1,0^{19}$ ergios, equivalente a una Magnitud Richter = 4,8. (Bolt, 1993).

Por otra parte, el valor oficial dado a conocer de la energía liberada por la bomba atómica lanzada sobre Hiroshima el 6 de agosto de 1945 fue de $8,9 \times 10^{20}$ ergios (Bolt, 1993). Si se estima que el mayor terremoto podría tener una energía del orden de los 10^{25} ergios, ello equivaldría aproximadamente a 12.000 bombas atómicas como la lanzada sobre Hiroshima.

Para tener una apreciación más concreta de la cantidad de energía que libera un terremoto, resulta práctico equipararla con un parámetro más accesible de comprender, como es la energía eléctrica consumida en la República Argentina. La **ec. 3** muestra la equivalencia entre ambas unidades de medición, la EE (Kwh) y la de los sismos (ergios).

$$1 \text{ Kwh} = 3,6 \times 10^6 \text{ Joule} = 3,6 \times 10^{13} \text{ ergios}$$

(3)

En el diagrama de barras ilustrado en la **Figura 2**, se han graficado los distintos grados de magnitud de un terremoto en función de la energía liberada; y, a modo de comparación, la EE consumida en la RA durante todo el año 2009, eventos catastróficos como la bomba atómica de Hiroshima y el terremoto de Chile de 2010 (M=8,8).

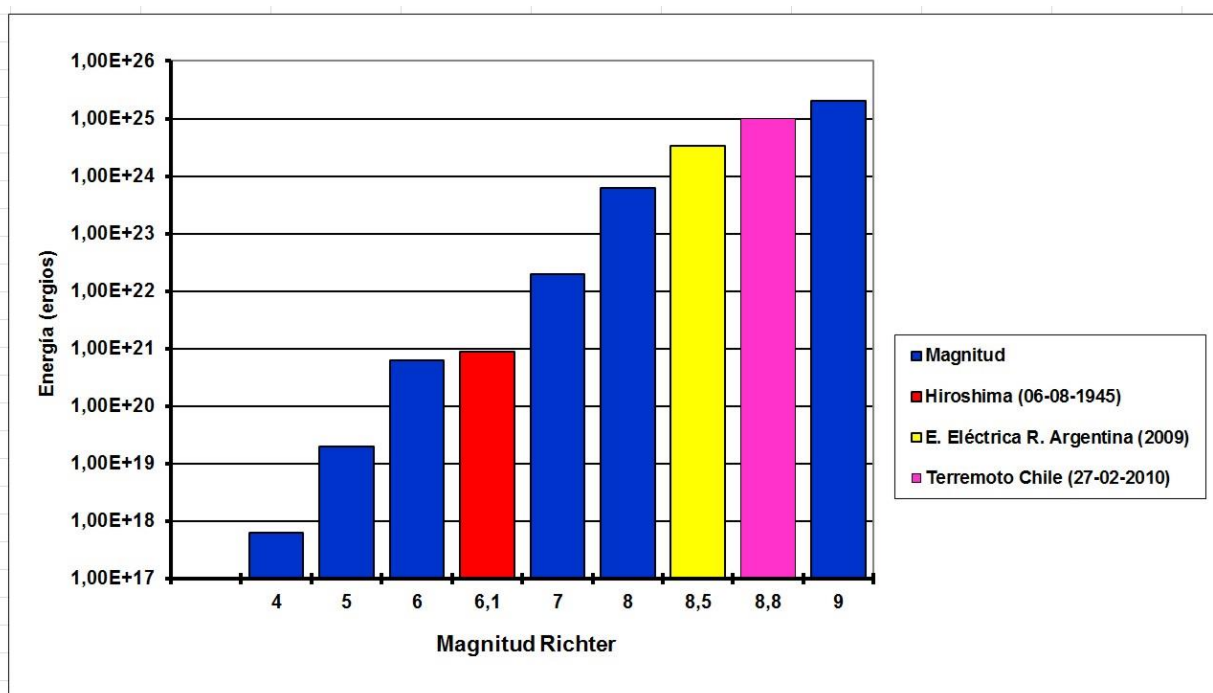


Figura 2: Diagrama de barras que compara Magnitud Richter con el consumo de EE en la R. Argentina*, y la energía liberada en el terremoto de Chile del 27-02-2010 (M = 8,8).

***Consumo Energía Eléctrica año 2009** (Boletines Estadísticos - Secretaría de Energía de la Nación): <http://www.energia.gov.ar>

República Argentina: 91.901.322 MWh (2009)
 Capital Federal: 11.330.776 MWh (2009)

Otra manera de representar la cantidad de energía de un terremoto, con bastante exactitud, es a partir del volumen de una esfera; el mismo viene expresado por la ecuación 2:

$$\text{Vol. } \textcircled{\bullet} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \quad (2)$$

Donde: R = Radio de la esfera.

Con esta consideración, si a la energía liberada por un terremoto de magnitud $M = 2$, cuya energía $E = 6,3 \times 10^{14}$ ergios, se la representa por el volumen de una esfera del tamaño de una pelota de golf, que tiene un radio aproximado de 2,5 cm; la energía liberada por el terremoto de Cauce del 23 de noviembre de 1977, que tuvo una magnitud $M = 7,4$ ($E = 7,9 \times 10^{22}$ ergios), estará representada, aproximadamente, por una esfera de 12,50 metros de radio.

Por lo tanto, la energía sísmica de un terremoto de $M = 6$ es cerca de 32 veces mayor que la de un terremoto de $M = 5$, y 1.000 veces mayor que la de uno de $M = 4$, (**Figura 3**).

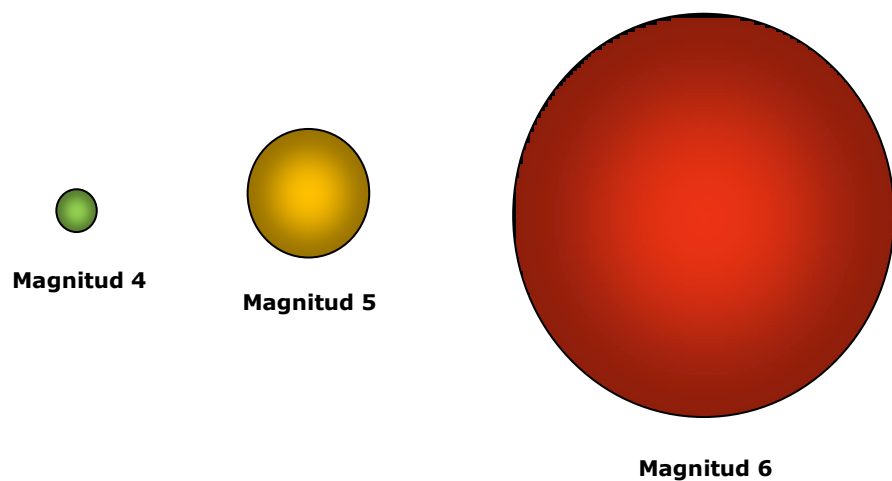


Figura 3: Ilustración comparativa en la cual la cantidad de energía de un terremoto está representada por el volumen de una esfera.

La **Tabla 2**, elaborada por el Servicio Geológico de EEUU (USGS) a partir de observaciones realizadas desde 1900, detalla la cantidad de sismos estimados por año, en función de su magnitud.

Magnitud	Frecuencia anual Esperada
2,0 - 2,9	1.300.000 (estimado)
3,0 - 3,9	130.000 (estimado)
4,0 - 4,9	13.000 (estimado)
5,0 - 5,9	1.319 ²
6,0 - 6,9	134 ²
7,0 - 7,9	15 ¹
≥ 8,0	1 ¹

Tabla 2: Relación aproximada entre magnitud y ocurrencia anual, (USGS).

¹ Basado en observaciones desde 1900.

² Basado en observaciones desde 1990.

<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/year/eqstats.php>

A su vez, en la **Tabla 3** se observa que la mayor parte de la energía total liberada en la Tierra, se debe a la contribución de los eventos que ocurren en el Cinturón de Fuego del Pacífico (K. Kasahara, 1981).

REGIÓN	ENERGÍA %		
	Superficiales	Intermedios	Profundos
* Circum-Pacífico	75,4	89	100
* Mediterránea y Trans-Asiática	22,9	11	0
* Otras	1,8	0	0
* TOTAL	100 %	100 %	100 %

Tabla 3: Porcentaje de energía liberada por los sismos en diferentes regiones del mundo. (K. Kasahara, 1981).

La **Figura 4** describe y compara los diferentes grados de magnitud Richter (escala izquierda), con la cantidad de energía equivalente liberada por la detonación de TNT (abreviatura de Trinitrotolueno), explosivo muy poderoso (escala de la derecha). A su vez en la parte central se detalla el número de sismos por año para cada rango de magnitud, incluyendo terremotos y eventos catastróficos.

A modo de referencia, la energía liberada por un sismo de M=6, equivale a la energía que libera la explosión de 56 Ktn de TNT.

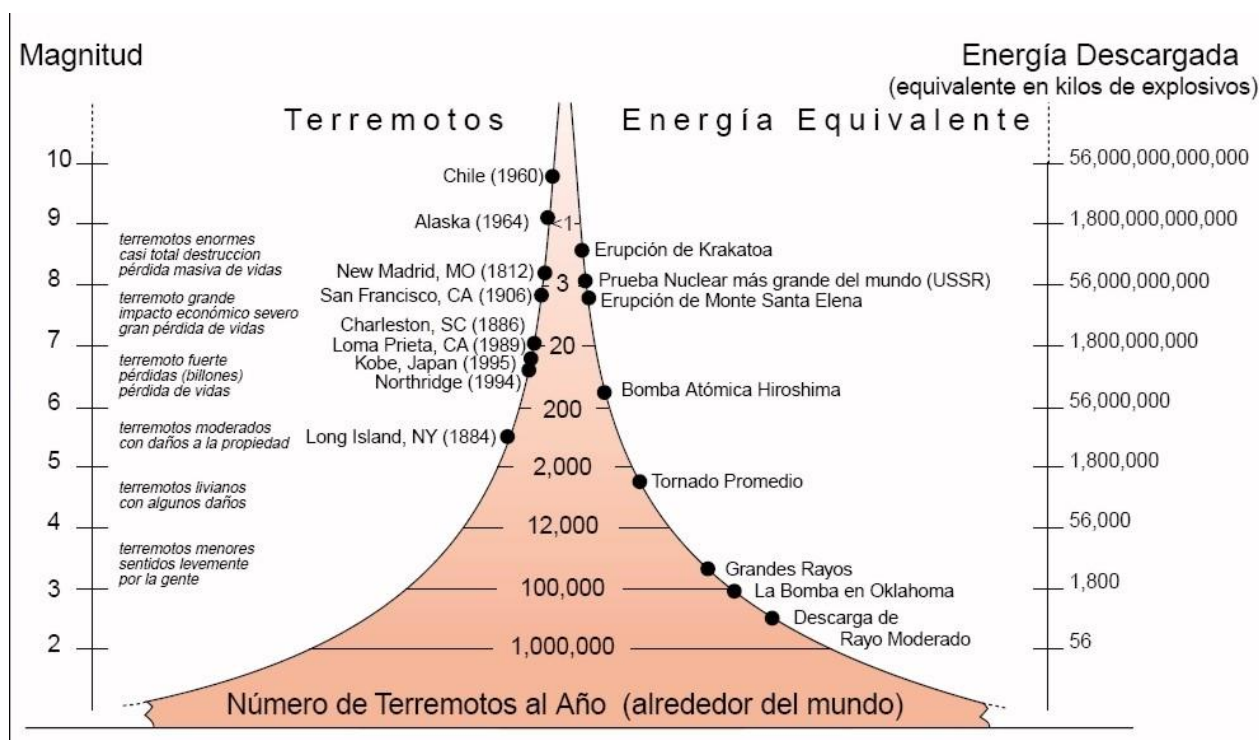


Figura 4: Ilustración que compara la magnitud de los sismos con su equivalente de energía liberada por un poderoso explosivo como el TNT. Se destacan los eventos más relevantes y la cantidad de sismos anuales en función de la magnitud (IRIS).

<http://www.iris.edu/hq/gallery/photo/1066>

BIBLIOGRAFÍA

BENIOFF, H. ; GUTENBERG, B. "*General Introduction to Seismology*". Earthquakes in Kern County During 1952. State of California. Division of Mines, Bulletin 171. San Francisco, 1955, page 133.

BOLT, Bruce. "*Earthquake*". University of California, Berkeley. W.H. Freeman and Company, New York (1993).

GUTENBERG, B.; RICHTER, C. F.- "*Seismicity of the Earth and Associated Phenomena*". Pinceton University Press, Princeton (N-J); 1945., page 18.

IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology): <http://www.iris.edu/hq/>

KASAHARA, K. - "*Earthquake Mechanics*"; Cambridge University Press; Malta (1981).

RICHTER, C. F. "*Elementary Seismology*". Prepared by the National Earthquake Information Center (NEIC). W. H. Freeman and Co. San Francisco, 1958, pages 353, 366.

U.S.Department of Defense. "*The Effects of Nuclear Weapons*", S. Glasstone, Ed.: Government Printing Office, Washington. D. C., 1962, page 14.

USGS (United States Geological Survey): <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/year/eqstats.php>