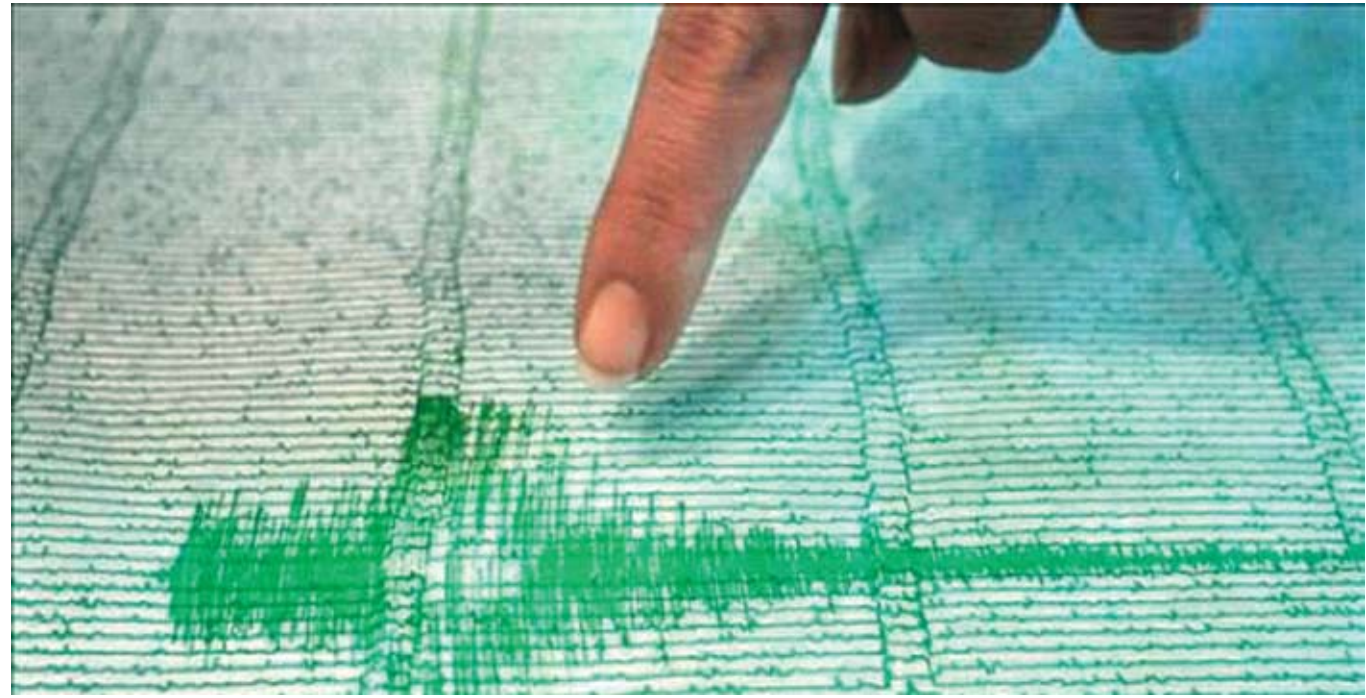




## LA MAGNITUD Y LAS INTENSIDADES DE LOS TEMBLORES

■■■■■■■■■■■ POR FRANCISCO JOSÉ SÁNCHEZ SESMA ■■■■■■■■■■■



En astronomía, las estrellas más brillantes tienen “primera magnitud” o magnitud 1. Al ser menos brillantes se les van asignando magnitudes mayores. En otras palabras, a mayor magnitud menor luminosidad. Tal vez por eso se ha dicho que María Callas, Enrico Caruso y Luciano Pavarotti eran “estrellas” de primera magnitud. En ese contexto la magnitud sería un buen sinónimo de “categoría”.

En sismología la cosa es diferente pues, al contrario de las estrellas, la magnitud de los temblores crece con su tamaño, con la cantidad de energía involucrada. Con frecuencia las noticias sobre temblores se refieren a la magnitud de los terremotos y se menciona el nombre de Richter. Para el público, un terremoto de magnitud igual a 7.8 es algo serio, pero poco se le dice de la variación espacial de la intensidad.

¿Qué es la magnitud de un terremoto? Es un número que mide el tamaño de un temblor, de acuerdo con la energía liberada en la fuente sísmica, es decir, en la zona de la falla de la corteza terrestre donde se produce una ruptura repentina. Por otra parte, la intensidad mide tanto el poder destructivo en un sitio dado, como la reacción de los seres humanos en ese lugar. Un sismo tendrá una magnitud única, mientras que la intensidad o severidad del movimiento variará en el espacio de sitio a sitio, decreciendo en promedio con la distancia a la zona en que se genera. Se han desarrollado diversas escalas de intensidad: las empíricas, como la de Mercalli modificada; y las instrumentales, como la de Arias, en la

que a partir de los registros de aceleración del movimiento de la superficie del terreno se calcula una medida de la energía que se relaciona con la que se puede inyectar a una edificación.

Los registros de los movimientos del terreno durante los sismos empezaron a obtenerse en Japón y Alemania a finales del siglo XIX. En México se instalaron en 1910 diversos sismógrafos en el observatorio de Tacubaya, y hace poco celebramos el centenario del Servicio Sismológico Nacional, hoy dependiente de la UNAM. Para los años 30 del siglo XX ya se tenían datos muy valiosos de las vibraciones de la tierra y comenzaban a establecerse, de acuerdo con modelos fisicomatemáticos, las explicaciones de las características de los sismogramas y a deducirse la estructura de nuestro planeta.

Se había planteado un problema que consistía en clasificar los temblores en grandes o chicos. Charles Richter, profesor del Instituto de Tecnología de California (CALTECH), observó que los sismogramas de terremotos grandes y pequeños producían amplitudes distintas en los sismogramas a distancias semejantes de la fuente. De manera empírica Richter propuso que la magnitud de un terremoto se midiera por la máxima amplitud que registraría un sismómetro estándar de marca Wood-Anderson con una amplificación de 2800, un periodo natural de 0.8 s, un coeficiente de amortiguamiento de 0.80 y localizado en terreno firme a 100 kilómetros del epicentro. Claramente, la propuesta ignora la polarización del movimiento, es decir, que su atenuación con la distancia depende de la dirección.

Además, no siempre se tienen estaciones a una distancia fija del origen del temblor. En la práctica se han desarrollado procedimientos empíricos para corregir por la distancia.

Se ha definido la magnitud  $M_L$  para la magnitud estimada por una red local, cerca de la zona originaria del sismo, o la magnitud de ondas superficiales  $M_S$  para estimaciones de observatorios lejanos. Con el tiempo, los observatorios sismológicos del mundo van calibrando sus medidas y cotejando sus estimaciones de la magnitud de acuerdo con los tipos de instrumentos y cobertura. Por eso, las estimaciones de la magnitud de un temblor pueden ir cambiando hasta que se llega a un consenso.

Hace unos cuarenta años Keiiti Aki, del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), propuso con sólidas bases físicas el concepto de momento sísmico  $M_o$ , que es el producto de una cantidad que mide la rigidez de la corteza terrestre, del deslizamiento promedio en el área de ruptura y de la dimensión de esta en  $\text{km}^2$ , y tiene unidades de energía. Las áreas de ruptura se delimitan al localizar las réplicas, que son los temblores más pequeños que ocurren posteriormente cerca del sismo grande, en espacio y tiempo.

Sin embargo, el concepto de momento sísmico no es práctico para la difusión de noticias, ya que varía mucho y puede tener muchas cifras significativas. Por ejemplo, el temblor de Tohoku ( $M = 9$ ) de 2011 tuvo un área de ruptura de unos 100 000  $\text{km}^2$ , mientras que al de Michoacán ( $M = 8.1$ ) de 1985 se le asocia un área de casi 12 000  $\text{km}^2$ .

Fue Hiroo Kanamori, del Instituto Tecnológico de California (CALTECH), quien propuso la magnitud  $M_w$  asociada con el momento sísmico  $M_w = (2/3)\log_{10} M_o - 10.73$ , expresada mediante una escala logarítmica. La adopción de esta escala permite representar números grandes con comodidad. Por ejemplo, los números 10,

100 y 1000 tienen los logaritmos 1, 2 y 3, respectivamente. Por ejemplo,  $\log_{10} 1000 = 3$  porque  $10 \times 10 \times 10 = 10^3 = 1000$ . De acuerdo con la ecuación de Kanamori, la diferencia de una unidad en magnitud de dos temblores representa un factor de 30 en los respectivos momentos sísmicos.

La magnitud del momento  $M_w$  se ha convertido en la más frecuente medida de la magnitud de los temblores grandes; requiere la estimación del momento sísmico  $M_o$ , y para esto se deben analizar sismogramas. Afortunadamente, existen procedimientos semiautomáticos, como el del proyecto CMT de la Universidad de Harvard, o similares regionales que regularmente calculan magnitudes de momento para muchos temblores de magnitud  $M_w$  mayor que 5. Por cierto, el temblor de 1960 en Chile, que es el mayor que se ha registrado, tuvo una magnitud de momento  $M_w$  igual a 9.5.

La magnitud mide el tamaño de un temblor en términos de la cantidad de energía irradiada; insistiré señalando que un terremoto tendrá una magnitud única en contraste con las medidas de intensidad del movimiento (por ejemplo, aceleraciones o velocidades máximas, densidad de energía, etc.) que tienden a decrecer a medida que aumenta la distancia a partir del hipocentro o foco.

Además, agradezco los comentarios y las sugerencias de Luis Esteva.

\*Investigador del Instituto de Ingeniería, UNAM, miembro del Consejo Consultivo de Ciencias, expresidente de la Academia de Ingeniería y de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, y miembro titular de la Academia Mexicana de Ciencias. 🇲🇽