



# Sobre la medida del tamaño del terremoto y la peligrosidad sísmica en España

## *On earthquake size measures and seismic hazard in Spain*

Jorge M. Gaspar-Escribano<sup>(1)</sup>, M. Esther Jiménez Peña<sup>(1)</sup>, J. A. Pastor<sup>(1)</sup>, Belén Benito<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía, Universidad Politécnica de Madrid, Ctra. Valencia km 7, E-28031 Madrid  
jgaspar@topografia.upm.es

### SUMMARY

*The influence of earthquake size parameters contained on seismic catalogues on seismic hazard assessment studies is discussed. The topic is illustrated in the Spanish context, characterized by moderate seismic activity and consequently, limited availability of seismic data. The different objectives pursued by seismic catalogue providers and users (in this case, earthquake hazard analysts) may cause misunderstandings and possibly misuses of catalogued size parameters. As an example, it is shown that magnitude data sets should be treated separately depending on the geographic area considered. Accordingly, region-dependent correlations between magnitude scales, required for implementing seismic hazard analyses, are presented. Results of this work underline the need of composing earthquake catalogues with homogeneous earthquake size parameters not only for historical events, but also for recent and future ones.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El parámetro de medida del tamaño del terremoto es un factor clave para la evaluación de la peligrosidad sísmica, porque controla el movimiento esperado del terreno. Así, los métodos deterministas de cálculo de la peligrosidad se basan en establecer el movimiento máximo en un cierto lugar causado por los mayores eventos en el área de influencia, y los métodos probabilistas hacen uso, además, de los sismos de menor tamaño para calcular leyes de recurrencia y parámetros de sismicidad. En ambos casos, la obtención de un valor realista del movimiento esperado está ligado a la calidad y a la composición del catálogo sísmico disponible. En este punto, se deben considerar dos factores: la fecha y localización del sismo y las distintas medidas del tamaño que facilitan las agencias.

Actualmente, la expansión de las redes de registro y el desarrollo tecnológico inciden en una mayor y mejor detectabilidad de los terremotos, y por tanto, en una mejora de la completitud y calidad de los catálogos. Sin embargo, la determinación de la localización y del tamaño del sismo para épocas pasadas constituye un importante reto para los sismólogos en tanto en cuanto la pobre calidad de los registros disponibles (si es que existen) y el uso de datos macrosísmicos (basados en estimaciones de daños y en observaciones subjetivas) acarrear grandes incertidumbres. Esta situación es más complicada en países que, como España o Portugal, presentan una sismicidad moderada y por tanto, cuentan con catálogos sísmicos limitados que no conforman una muestra representativa para los fines de un estudio de peligrosidad.

Desde la óptica de la agencia que publica el catálogo sísmico, uno de los objetivos primordiales es dar una estimación temprana de la localización y de la magnitud de los eventos que vayan sucediéndose, para facilitar una respuesta rápida que tenga un impacto adecuado en la sociedad (anticipando alarmas eventuales, respondiendo a peticiones de autoridades locales y/o de protección civil, etc). Sin embargo, a más largo plazo, desde el punto de vista de la peligrosidad sísmica, este enfoque puede ser insuficiente. En este trabajo se discute esta problemática utilizando datos de España fundamentalmente, si bien se podría generalizar el mismo enfoque a países con una casuística sismológica análoga.

## 2. CATÁLOGO SÍSMICO Y PARÁMETRO DE TAMAÑO

El catálogo sísmico oficial de España es confeccionado y mantenido por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Tras la revisión de Mezcua y Martínez Solares (1983), se homogeneiza la magnitud a la escala  $m_{bLg}$ , y posteriormente Martínez Solares y Mezcua (2002) revisan también el catálogo histórico (hasta 1900) y actualizan la intensidad macrosísmica a la escala EMS98. En la actualidad, se sigue usando la escala de magnitud  $m_{bLg}$ , obtenida a partir de medidas de amplitud y periodo dominante del tren Lg (López y Muñoz, 2003), generado por interferencia constructiva de

paquetes de ondas S canalizadas en la corteza terrestre. Para algunos terremotos cuyo epicentro se sitúa fuera de la Península Ibérica, el IGN da la magnitud de ondas  $m_b$ , y desde hace pocos años y para sismos relativamente grandes, la magnitud  $M_w$  obtenida por cálculo automático del tensor momento. Existen otras agencias regionales en España que también desarrollan su propio catálogo sísmico, como el Institut Cartogràfic/Geològic de Catalunya (ICC/IGC), que proporciona estimaciones de magnitud local (Richter) de sismos ocurridos principalmente en esa región o el Instituto Andaluz de Geofísica (IAG), que da valores de  $M_w$  en el área Ibero-Magrebí (*Moment Tensor Project*, Stich et al. 2003).

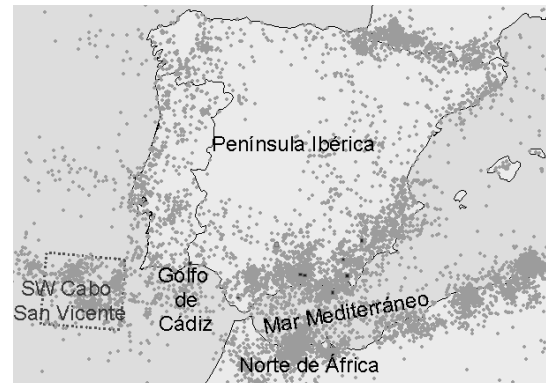


Figura 1 – Sismicidad de la Península Ibérica y alrededores. (*Seismicity of the Iberian Peninsula and surroundings*)

Si bien la escala de magnitud  $m_{bLg}$  es adecuada para caracterizar el tamaño de los terremotos que ocurren en la Península Ibérica, su aplicación a estudios de peligrosidad sísmica presenta ciertas dificultades. En primer lugar, ésta escala podría saturarse ante la ocurrencia de sismos grandes, al igual que pasa con otras escalas de magnitud basadas en ondas internas. No obstante, este hecho no se ha podido corroborar con datos reales, dada la ausencia de ese tipo de sismos durante el periodo instrumental (a excepción de los sismos profundos del sur de España). Para evitar efectos de saturación, es preferible utilizar la escala de magnitud  $M_w$ , que además puede correlacionarse fácilmente con parámetros de la ruptura.

En segundo lugar, la formación y propagación del tren Lg es sensible a variaciones del espesor del canal por el que se propaga, en este caso la corteza terrestre (Kennett, 1986). Por tanto, las estimaciones de magnitud basadas en registros correspondientes a trayectorias que hayan atravesado regiones de notable engrosamiento o adelgazamiento cortical estarán contaminadas significativamente por el efecto de la propagación y por tanto no reflejarán el tamaño del sismo adecuadamente. Este hecho ya fue apuntado por Calvert et al. (2000) para la zona de contacto entre las



placas Ibérica y Africana, donde la fase Lg resulta atenuada (o incluso bloqueada) para sismos con fuente en Argelia, Marruecos o el suroeste del Cabo San Vicente registrados en España.

Finalmente, a efectos prácticos para estudios de peligrosidad se requieren modelos del movimiento fuerte del suelo que permitan calcular los máximos movimientos esperados, que por lo general corresponden a sismos fuertes, para los cuales no hay datos locales. Así pues, se hace preciso emplear modelos desarrollados para otras zonas, que por lo general (sobre todo los más modernos) utilizan la escala de magnitud  $M_w$  o la de ondas superficiales, en principio más apropiadas para determinar el tamaño de sismos grandes que las escalas basadas en ondas internas. Esta problemática es frecuente en evaluaciones de peligrosidad y, una solución comúnmente adoptada es la de usar correlaciones entre diferentes escalas de magnitud (López-Casado et al., 2000; Rueda y Mezcua, 2002). Es importante realizar estas correlaciones usando datos locales para reducir la incertidumbre en la conversión entre escalas.

Seguidamente se proponen correlaciones entre las escalas  $m_{bLg}$  y  $M_w$  en las que se establecen diferencias según la región donde se sitúa el epicentro, tal como se indica en la Figura 1. De este modo se pretende reducir el error introducido por aquellas estimaciones de magnitud  $m_{bLg}$  correspondientes a rayos que se propagan por una zona con importantes variaciones de espesor cortical. En la Figura 2 se muestran las magnitudes de terremotos recientes dadas por el IGN ( $m_{bLg}$  o  $m_b$ ) y el IAG ( $M_w$ ), distinguiendo la zona donde se produce el sismo. Se aprecia que la equivalencia entre magnitudes no es independiente de la zona. Así, para las zonas africanas, se aprecian valores de  $m_{bLg}$  relativamente bajos en comparación con los de  $M_w$ , de modo que la magnitud  $m_{bLg}$  ( $m_b$ ) infravalora el tamaño de los sismos allí originados.

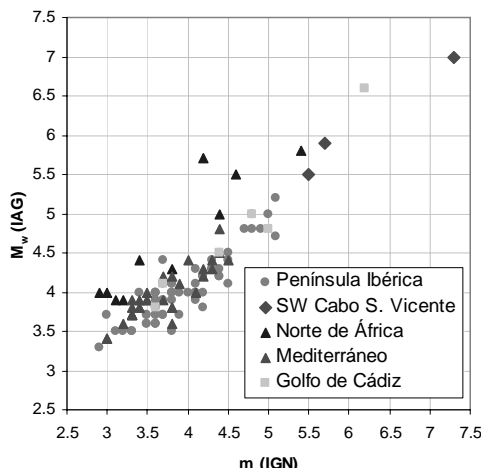


Figura 2 – Estimaciones de magnitud del IGN y del IAG para sismos recientes diferenciando entre zonas fuente. (Magnitude estimates from IAG and IAG distinguishing source zones)

### 3. RESULTADOS

Se realizan diversos análisis de correlación  $M_w$ (IAG)- $m$ (IGN) según la expresión (1), distinguiendo cuatro subconjuntos de datos correspondientes a las fuentes: Mar Mediterráneo y Península Ibérica, SW Cabo San Vicente, Norte de África y Golfo de Cádiz.

$$M_w = a + b \cdot m + c \cdot m^2 \quad (1)$$

Los conjuntos de datos de la Península Ibérica y del Mar Mediterráneo inicialmente se analizaron por separado y dieron resultados muy similares. Por ello, se consideró un único grupo con todos los datos para mejorar los ajustes. Los coeficientes resultantes se recogen en la Tabla 1. Los resultados obtenidos para las zonas marinas carecen de representatividad estadística, pues la muestra de datos  $n$  es reducida. Las correlaciones anteriores se comparan con las obtenidas por diferentes autores en la Figura 3. En general, la correlación de la zona peninsular da valores intermedios entre los obtenidos con la fórmula de Rueda y Mezcua

(2002) y con las de los otros autores. Nótese la importante diferencia entre los valores de  $M_w$  para las diversas zonas.

Tabla 1 – Coeficientes de las correlaciones resultantes para la ecuación 1 (Correlation coefficients obtained for equation 1)

| Zona                             | a      | b      | c      | n  | r <sup>2</sup> |
|----------------------------------|--------|--------|--------|----|----------------|
| Península Ibérica y Mediterráneo | 3.8860 | 0.6014 | 0.1615 | 91 | 0.78           |
| Norte de África                  | 1.5074 | 0.8066 | 0      | 26 | 0.89           |
| Golfo de Cádiz                   | 0.1817 | 1.004  | 0      | 6  | 0.95           |
| SW Cabo S Vicente                | 1.3494 | 0.7782 | 0      | 6  | 0.98           |

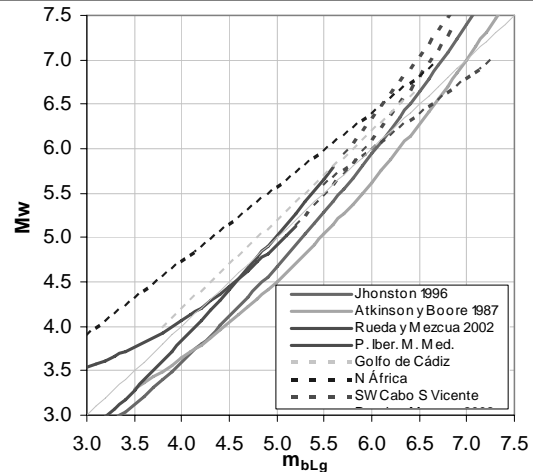


Figura 3 – Comparación entre las correlaciones obtenidas y las de diversos autores. (Comparison with the correlations obtained with others published by different authors)

### 4. CONCLUSIONES

La homogeneización de magnitudes en un catálogo sísmico tiene una importante influencia en los resultados de estudios de peligrosidad. Para ello se deben utilizar correlaciones entre diferentes escalas y es conveniente tener en cuenta la zona fuente de los datos en la deducción de las mismas. A efectos prácticos de cálculo de la peligrosidad es recomendable homogeneizar el parámetro de tamaño a  $M_w$  por ser el tipo de magnitud más estable y el que se tiende a emplear de forma generalizada en los modelos de movimiento fuerte, necesarios para el cálculo.

### 5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Carmen López (Instituto Geográfico Nacional) su interés por el tema y las interesantes discusiones científicas.

### 6. REFERENCIAS

- Atkinson, G. M., and D. M. Boore (1995): "Stochastic prediction of ground motion and spectral response parameters at hard-rock sites in eastern North America". *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **77**, 440-467.
- Calvert, A., E. Sandyol, D. Seber, M. Barazangi, S. Roecker, T. Mourabit, F. Vidal, G. Alguacil and N. Jabour (2000): "Propagation of regional seismic phases (Lg and Sn) and Pn velocity structure along the Africa-Iberia plate boundary zone: tectonic implications". *Geophys. J. Int.*, **142**, 384-408.
- López, C., and D. Muñoz (2003): "Fórmulas de magnitud en los boletines y catálogos españoles". *Física de la Tierra*, **15**, 49-71.
- López-Casado, C., S. Molina, J. J. Giner and J. Delgado (2000): "Magnitude-intensity relationships in the Ibero-Magrebhian region". *Natural Hazards*, **22**, 269-294.
- Johnston, A. R. (1996): "Seismic moment assessment of earthquakes in stable continental regions I: Instrumental seismicity". *Geophys. J. Int.*, **124**, 381-414.
- Kennett, B. L. N. (1986): "Lg waves and structural boundaries". *Bull. Seism. Soc. Am.*, **76**, 1133-1141.
- Martínez Solares, J. M., and J. Mézcua (2002): "Catálogo sísmico de la Península Ibérica (880 a. C.-1900)". Monografía 18, Instituto Geográfico Nacional, Madrid, 253 pp.
- Mezcua, J. and J. M. Martínez Solares (1983): "Sismicidad del área Iberomagreb". Instituto Geográfico Nacional, Pub. 203, 301 pp.
- Rueda, J. and J. Mézcua (2002): "Estudio del terremoto de 23 de Septiembre de 2001 en Pego (Alicante). Obtención de una relación  $m_{bLg}$ - $M_w$  para la Península Ibérica". *Rev. Soc. Geol. España*, **15**, 159-173.
- Stich, D., C. J. Ammon and J. Morales (2003): "Moment tensor solutions for small and moderate earthquakes in the Ibero-Magreb region". *J. Geophys. Res.* **108**, 2002JB002057.