

Estimación del terremoto máximo posible y su intervalo de recurrencia en la Falla de Carrascoy (Murcia) para su implementación en el cálculo de la peligrosidad sísmica de la región

Estimation of the maximum possible earthquake and recurrence interval on the Carrascoy Fault (Murcia) for seismic hazard calculations in the region

J. García-Mayordomo y J.A. Álvarez-Gómez

Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, Ciudad Universitaria s/n, 28040, Madrid. jmayordomo@geo.ucm.es, jaalvare@geo.ucm.es

ABSTRACT

Seismogenic source characterization in seismic hazard analysis of moderate activity areas is usually solely based on the seismogenic zone concept and the available historical records. However, the location of future big earthquakes ($M > 6$) is always associated to major faults. In this work a methodological approach to estimate maximum earthquakes and mean recurrence intervals in faults where detailed paleoseismicity studies lack is presented. An example case (Carrascoy Fault) extracted from an extended work which comprises all the major faults in SE Spain is shown. The Carrascoy Fault is 32 km long and shows evidence of activity at least Upper Pleistocene. Slip rate is estimated in 0.54 m/ka. Seismicity distributes along the fault and surrounding areas. However, seismotectonic relations cannot be precisely stated due to the poor quality locations and the lack of seismic series. Considering the surface length of the fault a magnitude 6.8 maximum earthquake is estimated. According to the slip rate of the fault and making use of three independent methods the recurrence period of such an earthquake is estimated to range from 6,000 to 10,000 years.

Key words: *Seismic hazard, SE Spain, Murcia, active faults.*

*Geogaceta, 39 (2006), 51-54
ISSN: 0213683X*

Introducción

El primer paso en toda evaluación de la peligrosidad sísmica consiste en la identificación y caracterización de las fuentes sismogénicas. En regiones de sismicidad moderada, como el Sureste de España, las fuentes sismogénicas se han modelizado tradicionalmente como áreas (zonas o provincias sismotectónicas). En cada una de ellas el analista estima a partir del máximo registro histórico conocido el tamaño del terremoto máximo que puede ocurrir en el interior de la zona. Este procedimiento presenta dos importantes inconvenientes: 1) el máximo registro histórico no tiene por que ser el máximo posible y, 2) la ocurrencia de grandes eventos sísmicos ($M > 6$) siempre está asociada a fallas mayores de tamaño proporcional a la magnitud del terremoto. Concretamente en el Sureste de España se ha realizado un estudio enfocado a identificar y caracterizar las grandes fallas que tienen interés desde el punto de vista del cálculo de la peligrosidad sísmica

(García-Mayordomo, 2005). En este trabajo se presenta un ejemplo de la metodología aplicada y resultados obtenidos para el caso concreto de la Falla de Carrascoy.

Metodología

La caracterización de una falla desde el punto de vista aplicado de la peligrosidad sísmica comprende dos objetivos fundamentales: 1) la estimación de la magnitud máxima posible que la geometría de la falla puede producir, y 2) la recurrencia media de tal evento. Para la consecución del primer objetivo es necesario estudiar la zona de falla desde el punto de vista morfoestructural (expresión en superficie de la tectónica) y establecer los diferentes segmentos en los que esta pueda compartimentarse, ya sea por cambios bruscos en la dirección, diferente impronta morfológica o estilo de deformación, cruces con otros accidentes tectónicos,... (Schwartz y Coppersmith, 1986). El resultado del estudio morfoestructural debe conducir a la esti-

mación de la longitud máxima de rotura en cada segmento.

Para la consecución del segundo objetivo es necesario estimar con la mayor precisión posible la edad de las deformaciones más recientes asociadas a la falla y, cuando sea posible, determinar la tasa de deslizamiento de la falla durante el cuaternario. En general, se puede admitir que en fallas en las que no se hayan reconocido deformaciones de edad al menos Pleistoceno Superior la recurrencia del terremoto máximo será mayor de 10.000 años.

Si se ha podido estimar la tasa de deslizamiento de la falla la recurrencia del evento máximo puede calcularse a partir de tres métodos independientes:

(1) Método «Wesnousky»: analíticamente a través de la ecuación que relaciona el desplazamiento cosísmico con la tasa de deslizamiento de la falla (Wesnousky, 1986).

(2) Método «Villamor y Berryman»: a través de la relación empírica entre el periodo de recurrencia y la tasa de desli-

zamiento propuesta por Villamor y Berryman (1999).

(3) Método «Slemmons»: a través de la relación empírica gráfica propuesta por Slemmons (1982), que relaciona la magnitud M_s con la tasa de deslizamiento y el periodo de recurrencia.

El periodo medio de recurrencia del evento de magnitud máxima se obtiene en forma de intervalo. Los extremos superior e inferior del intervalo se obtienen haciendo la media entre los valores máximos y mínimos, respectivamente. En fallas cuya última deformación reconocida en campo no entre dentro del periodo Holoceno (pero sí del Pleistoceno Superior) el límite superior del intervalo debe situarse en 10.000 años, y el límite inferior en la media de los valores máximos. Una explicación más detallada sobre estos métodos y de las implicaciones sismotectónicas asumidas en su aplicación se encuentra en García-Mayordomo (2005).

Por último, el estudio de las evidencias de actividad reciente debe acompañarse de un análisis sismotectónico. La prueba más evidente de la actividad actual de una falla es la ocurrencia de sismicidad asociada. Sin embargo, en regiones de sismicidad moderada el establecimiento de relaciones unívocas entre fallas concretas y sismicidad es muy difícil (e.g. Sanz de Galdeano y López Casado, 1988), ya sea por la baja precisión en la localización de

los terremotos o la escasez de registros completos de series sísmicas. En el sureste de España, en general, sólo la sismicidad registrada con posterioridad a 1985 (Periodo Instrumental Moderno) puede presentar precisión o registro de réplicas suficiente para asociarse con seguridad a fallas concretas.

Marco regional

La Zona de Falla de Carrascoy conforma el borde meridional de la mitad oriental de la Depresión del Guadalentín (Murcia), situada en las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas Orientales (Fig. 1). La Depresión del Guadalentín es una estrecha y alargada depresión pliocuaternaria, de dirección general NE-SW, y cota variable entre 300 y 100 m, que se encuentra limitada por relieves de cierta entidad tanto al norte como al sur. En su mitad oriental el límite norte está formado por una alineación NE-SW de suaves relieves controlados por la prolongación noroccidental de la Falla de Alhama de Murcia. El límite sur está constituido por la Sierra de Carrascoy (1063 m), cuyo borde norte está controlado por la Falla de Carrascoy, también de dirección NE-SW. Hacia el este de la Sierra de Carrascoy tiene lugar el enlace entre la Depresión del Guadalentín y la Cuenca del Bajo Segura, también controlada tectónicamente por la falla del mismo nombre.

Morfoestructura de la Zona de Falla

La Zona de Falla de Carrascoy discurre a lo largo de unos 32 km en dirección general NE-SW a lo largo del borde norte la sierra del mismo nombre y por la adyacente Sierra de la Cresta del Gallo (Fig. 1). Hacia el este enlaza con la Falla del Bajo Segura, de dirección ENE-WSW y de cinemática inversa. Hacia el oeste termina abruptamente por efecto de una falla normal NNE-SSW y da paso a la zona de conexión con la Cuenca de Mazarrón y Campo de Cartagena.

La zona de falla está compuesta por un sistema de fallas anastomosadas con direcciones generales NE-SW y E-W y buzamientos variables. En conjunto conforman una zona de cizalla de cinemática inverso sinistral con un ancho entre 1 y 4 km (Silva, 1994). Las fallas principales, de dirección NE-SW, se localizan preferentemente a lo largo del frente montañoso y presentan una traza en superficie mucho más continua que las anteriores. La longitud máxima de algunas de estas fallas es aproximadamente equivalente a la longitud del frente montañoso. Las fallas E-W presentan longitudes menores, de hasta 10 km, y se localizan tanto por el interior de la sierra como en la zona de enlace con la Depresión del Guadalentín.

Evidencias de actividad cuaternaria: estimación de la tasa de deslizamiento

La actividad tectónica reciente de la Zona de Falla de Carrascoy ha sido evidenciada y estudiada con detalle por Silva (1994). Este autor describe numerosas anomalías geomorfológicas asociadas a la actividad reciente de la falla: deflexiones sinistral de barrancos, basculamientos y pendientes anómalas en superficies de abanicos aluviales y facetados del frente montañoso. Las evidencias de actividad directa comprenden escarpes de falla en los depósitos de abanico aluvial del Pleistoceno Medio y Superior que se disponen hacia el interior de la Depresión del Guadalentín.

Silva (1994) estima en un rango de 3,6-2,6 m/ka la tasa de levantamiento de la Sierra de Carrascoy desde el comienzo del Plioceno (5 ma). Este valor contrasta con los 0,2 m/ka que estiman Sanz de Galdeano *et al.*, (1998) para el sector más elevado de la sierra desde finales del Tortonense. De acuerdo con las características geomorfológicas del frente montañoso de la Sierra de Carrascoy (Silva *et al.*, 2003), el valor de 0,2 m/ka representaría una estimación más precisa de la tasa máxima de levantamiento durante el Cuaternario. Por

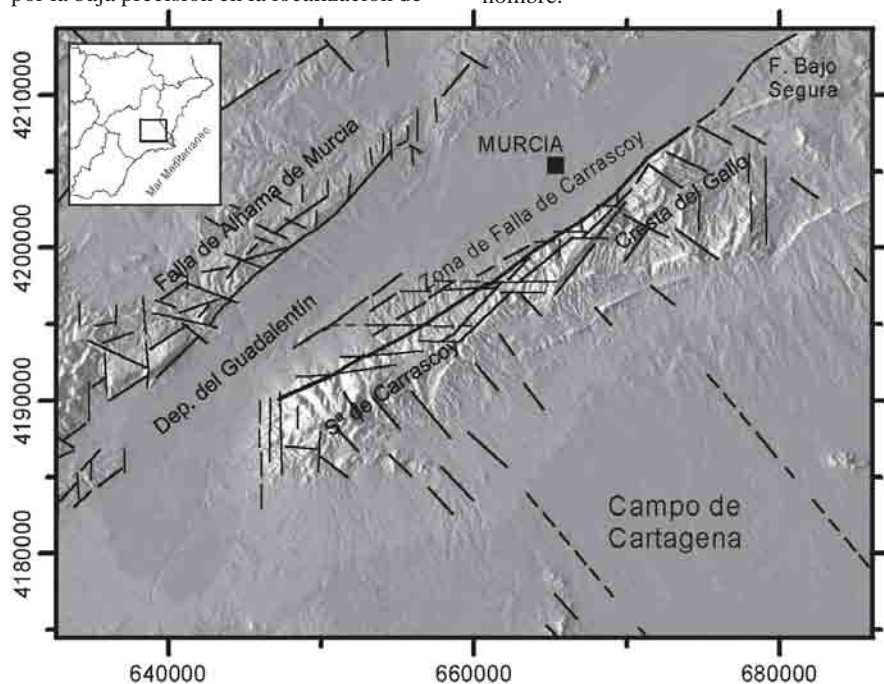


Fig. 1.- Localización de la Zona de Falla de Carrascoy. Se señala con un grosor de línea mayor la traza principal de la falla en superficie. Cartografía basada en el Baena *et al.* (1993), Silva (1994) y de la interpretación del modelo digital del terreno.

Fig. 1.- Location of the Carrascoy Fault Zone. The main fault trace is highlighted in a thicker line. Mapping based on Baena *et al.* (1993), Silva (1994) and interpretation of the digital terrain model.

otra parte, Silva (1994), a partir de la medida de desplazamientos máximos entre canales estima una tasa máxima de deslizamiento horizontal desde comienzos del Pleistoceno Superior (160 ka) entre 1,00 y 0,50 m/ka. El primero de estos valores debe considerarse sobreestimado.

Asumiendo un valor de tasa vertical de 0,20 m/ka, y un valor de tasa horizontal de 0,50 m/ka, resulta una estimación de la tasa máxima de deslizamiento neto de 0,54 m/ka. Esta tasa implica un cabeceo del vector de deslizamiento de unos 20°, valor coherente con la cinemática inversa sinistral reconocida en la falla.

Sismicidad en el entorno de la Zona de Falla de Carrascoy

La Zona de Falla de Carrascoy se localiza en una de las zonas más activas sísmicamente de España (Murcia-Alicante). En el entorno de la Falla de Carrascoy la sismicidad se distribuye tanto a lo largo de la zona de falla como en la vertiente sur de la sierra y borde norte del Campo de Cartagena (Fig. 2).

A lo largo de la Zona de Falla de Carrascoy se han identificado dos agrupaciones principales de epicentros (Fig. 2):

Agrupación de Carrascoy: Esta agrupación, de forma elongada, se dispone a lo largo de la sierra y la parte adyacente de la Depresión del Guadalentín. Destacan en su interior los sismos de 1946 y 1961, de magnitudes 4,2 y 3,9 y sentidos con intensidades de VI y III en Sangonera y Murcia. Ninguno de ellos presenta réplicas registradas. Así mismo destaca el sismo de 1743 de intensidad VII en la ciudad de Murcia. El resto de la sismicidad está compuesta por pequeños sismos registrados durante el Periodo Instrumental Moderno (de 1985 en adelante), sin identificarse ninguna serie sísmica entre ellos. La sismicidad de esta agrupación debe estar relacionada con las fallas que componen la Zona de Falla de Carrascoy, si bien no es posible asociarla con ningún sistema de los dos principales NE-SW y E-W.

Agrupación Oeste de Carrascoy: En la terminación occidental de la Sierra de

Carrascoy se identifica una agrupación de pequeños sismos registrados durante el Periodo Instrumental Moderno. Si bien no es posible identificar ninguna serie sísmica en su interior, la característica distribución N-S permite relacionarla razonablemente con la localización de fallas de similar dirección que controlan la terminación de la sierra.

Por otra parte, en la vertiente sur de la Sierra de Carrascoy y borde norte del Campo de Cartagena se han identificado dos agrupaciones sísmicas (Fig. 2):

Agrupación Norte del Campo de Cartagena: Esta agrupación se localiza fundamentalmente en la vertiente sur de la Sierra de la Cresta del Gallo. En su interior destaca la localización de dos sismos de magnitudes moderadas, el de 1952 de magnitud 4,4 sentido con intensidad V en Palmar (Murcia), y el de 1986 de magnitud 3,7 e intensidad V en Sangonera (Murcia) con dos réplicas registradas, la mayor con magnitud 3,3. El resto de la sismicidad fue registrada durante el Periodo Instrumental Moderno, habiéndose identificado dos pequeñas series de baja magnitud: Series Sísmicas del SE de Murcia de 1999 y 2002. La primera se compone de tres sismos con magnitudes entre 2,0 y 2,8, y fue registrada los días 27 y 28 de octubre de 1998. La segunda tiene cinco sismos con magnitudes entre 1,6 y 3,0 y se registró durante los días 27 y 28 de abril de 2002. La distribución espacial de las series no señala claramente asociaciones con ninguna falla, si bien puede inferirse una alineación preferente NW-SE, que sería concordante con la dirección que presentan las fallas en esta zona.

Agrupación Noroeste del Campo de Cartagena: En la vertiente sur de la Sierra de Carrascoy se identifica una agrupación de unos 12 sismos registrados en el Periodo Instrumental Moderno. Las magnitudes que presentan se sitúan entre 1,8 y 3,0. No se ha identificado ninguna serie sísmica dentro de esta agrupación que pudiera ayudar a establecer relaciones claras con la tectónica. Sin embargo, esta sismicidad debe estar probablemente relacionada con las fallas del sistema NW-SE, ya que son las únicas presentes en la zona.

Discusión y resultados

La Zona de Falla de Carrascoy presenta evidencias de deformaciones recientes que abarcan el Pleistoceno Superior (Silva, 1994). La tasa de deslizamiento

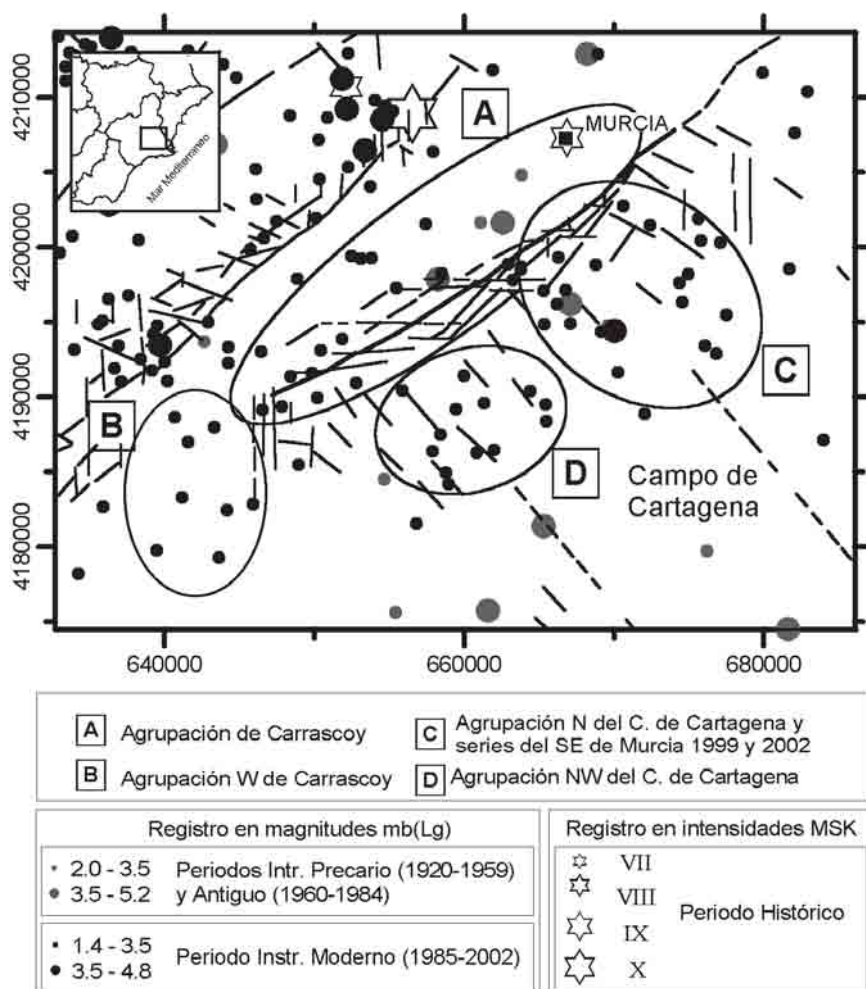


Fig. 2.- Sismicidad de la Zona de Falla de Carrascoy y del entorno próximo.

Fig. 2.- Seismicity of the Carrascoy Fault Zone and surrounding area.

to neta máxima de esta falla se ha estimado en unos 0,54 m/ka, a partir de datos de Silva (1994), Sanz de Galdeano *et al.*, (1998) y Silva *et al.*, (2003).

La sismicidad registrada a lo largo de la falla es bastante escasa, sin existir registro de series sísmicas importantes. La ocurrencia de esta sismicidad debe estar relacionada con las fallas que componen la Zona de Falla de Carrascoy. No obstante, la sismicidad localizada en la vertiente sur de la Sierra de Carrascoy y borde norte del Campo de Cartagena debe asociarse fundamentalmente con la actividad de fallas secundarias de dirección general NW-SE. De igual modo, la sismicidad de la Agrupación Oeste de la Sierra de Carrascoy debe relacionarse principalmente con fallas secundarias de orientación general N-S a NNE-SSW.

La magnitud momento de un terremoto que rompiera la longitud máxima que presentan algunas de las fallas NE-SW de la Zona de Falla de Carrascoy puede estimarse en 6,83 ($\pm 0,28$) (Wells y Coppersmith, 1994). La recurrencia de tales terremotos debe estimarse en al menos 10 ka, dado que hasta la fecha no se han reconocido deformaciones en depósitos de edad Holoceno. Sin embargo, la alta tasa de deslizamiento que presenta esta falla arroja estimaciones del periodo de recurrencia menores, entre 3.000 y 6.000 años (Tabla I). Por tanto, y teniendo en cuenta la ausencia de deformaciones holocenas, la recurrencia media de terremotos máximos debe asumirse en torno a los 6.000-10.000 años. La realización de estudios paleosísmicos en la Falla de Carrascoy posiblemente redujera de manera importante la incertidumbre de estos valores.

Conclusiones

La Falla de Carrascoy es una de las fallas del Sureste de España con mayor

Falla:	M	Métodos			Última deformación evidenciada	Intervalo admitido en este estudio
		Wesnousky	Villamor y Berryman	Slemmons		
Carrascoy	6,8	[2.560–6.733]	5.192	3.500	> 10.000	6.000 – 10.000

Tabla I.- Estimaciones del periodo medio de recurrencia del evento de magnitud momento máxima (M) de la Falla de Carrascoy a través de diferentes métodos (cf. García-Mayordomo, 2005). El intervalo admitido en este estudio es la media de los valores máximos y mínimos, y teniendo en cuenta la edad de las últimas deformaciones evidenciadas. Valores en años.

Table I.- Estimated mean recurrence time of the maximum magnitude event (M) of the Carrascoy Fault through different methods (cf. García-Mayordomo, 2005). The recurrence range proposed in this study is the mean of the maximum and minimum values, and considering the age of the youngest deformations. Values are in years.

longitud en superficie. La magnitud momento de un terremoto que rompiera en superficie toda su longitud se estima en 6,8. A partir de las evidencias disponibles sobre las deformaciones más recientes asociadas a la actividad de la falla se puede estimar, a falta de estudios paleosísmicos de detalle, que la recurrencia media de tal evento debe situarse entre los 10.000 y 6.000 años. Estas características implican que la Falla de Carrascoy debe considerarse en la evaluación de la peligrosidad sísmica de la región, tanto en evaluaciones de tipo determinista como en el cálculo probabilista.

Agradecimientos

El primer autor fue beneficiario de una beca FPI de la CAM durante parte del periodo de realización de su tesis.

Referencias

Baena, J., Barranco L.M., Zazo, C., Goy, J.L., Silva, P.G., Somoza, L., Bardají, T., Estevez, A., Sanz de Galdeano, C. y Rodríguez, T. (1993). *Mapa neotectónico, sismotectónico y de actividad de fallas de la Región de Murcia 1:200.000 y 1:100.000*. ITGE-CARM.

García-Mayordomo, J. (2005). *Caracterización y Análisis de la Peligrosidad Sísmica en el Sureste de España*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 373 p.

Schwartz, D.P. y Coppersmith, K.J. (1986). En: *Active Tectonics*. National Academy Press, 215-214.

Sanz de Galdeano, C. y López-Casado, C. (1988). *Revista de Geofísica*, 44, 175-198.

Sanz de Galdeano, C., López-Garrido, A.C. y García-Tortosa, F.J. (1998). *Geogaceta*, 23, 139-142.

Silva, P.G. (1994). *Evolución geodinámica de la Depresión del Guadalentín desde el Mioceno Superior hasta la actualidad: Neotectónica y Geomorfología*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 642 pp.

Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C. y Bardají T. (2003). *Geomorphology*, 50, 203-225.

Slemmons, D.B. (1982). En: *Proceedings of the 3rd International Earthquake Microzonation Conference*, v.1, 119-130.

Villamor, P. y Berryman, K. (1999). En: *1^{er} Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*. Memorias, I, 153-163.

Wells, D.L. y Coppersmith, K.J. (1994). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84, 974-1002.