

Definición de fuentes sísmicas de terremotos históricos a partir de la escala de intensidades macrosísmicas ESI-07 y la modelización por SHAKEMAPS. Implicaciones en la peligrosidad sísmica

Defining the seismogenic source for historical earthquakes from the application of the ESI-07 scale combined with ShakeMap modelling. Implications in Seismic Hazard assessment

J.L. Giner-Robles¹, J. Elez², P.G. Silva², M.A. Rodríguez-Pascua³, R. Pérez-López³, T. Bardaji⁴, M.A. Perucha³, E. Roquero⁵ y E. Rodríguez-Escudero¹

1 Dpto. Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid 28049 Madrid. jorge.giner@uam.es.

2 Dpto. Geología. Escuela Politécnica Superior de Ávila. Universidad Salamanca. 05003-Ávila. España; pgsilva@usal.es

3 Instituto Geológico y Minero de España (IGME). C/ Ríos Rosas, 23. 28003-Madrid. España; ma.rodriguez@igme.es, r.perez@igme.es

4 U.D. Geología. Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares (Madrid), España. teresa.bardaji@uah.es

5 Dpto. Edafología. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. elvira.roquero@upm.es

Resumen: En este trabajo se han establecido los parámetros de las fuentes sísmicas de los terremotos históricos de Tavernes (1396) y de Estubeny (1748). A partir de las intensidades macrosísmicas ESI-07, se han realizado modelizaciones de la fuente sísmica (localización, magnitud y orientación de la fuente sísmica) construyendo diferentes mapas de valores de PGA (ShakeMaps). Se ha elegido la fuente sísmica de la modelización que mayor coherencia presentaba entre los valores de intensidad ESI-07 y los valores de PGA obtenidos, utilizando la correlación de intensidades macrosísmicas y PGAs utilizada por el USGS. Para el terremoto de Tavernes de 1396 se ha obtenido una falla normal orientada NO-SE (Mw 7,0) y para el terremoto de Estubeny una falla inversa orientada ENE-OSO (Mw 6,5). El análisis de las principales estructuras tectónicas de la zona y de las reconstrucciones de los mecanismos focales de terremotos localizados en la zona analizada permite establecer la coherencia de los datos obtenidos con la sismotectónica de la zona.

Palabras clave: escala ESI-07, ShakeMaps, Terremoto de Tavernes (1396), Terremoto de Estubeny (1748), PGA.

Abstract: In this work we offer the parameters of the seismogenic sources for the AD 1396 Tavernes and AD 1748 Estubeny historical events. Comparing with the spatial distribution of ESI-07 Intensities, ShakeMap models in terms of PGA with different features of the seismogenic source (epicentral location, Mw, orientation of the source) have been obtained. After iteration, the chosen seismogenic source was that with the best fit between the PGA ranges of intensity used by the USGS and with ESI-intensity evaluations of the zone. For the Tavernes event results point to a NW-SE (Mw 7.0) normal fault and for the Estubeny to a reverse fault ENE-WSW oriented and Mw 6.5. Analyses of the main structures and its features as well as the reconstructions of the focal mechanisms in the study area are quite compatible with obtained data.

Key words: ESI-07 intensity scale, ShakeMaps, Tavernes earthquake (1396 AD), Estubeny earthquake (1748 AD), PGA.

INTRODUCCIÓN

En España existe muy poca información sobre las fuentes simogenéticas que han producido terremotos históricos destructivos. En este trabajo se propone una metodología de análisis que permite establecer posibles fuentes sísmicas para terremotos históricos sin datos de fuente sísmica. La metodología se ha aplicado a los terremotos de Tavernes del 18/12/1396 y del terremoto de Estubeny del 23/03/1748, utilizando los datos de intensidad macrosísmica (Giner-Robles, 2014, 2015) ESI-07 (Michetti et al., 2007) y la construcción de ShakesMaps (Elez, 2015, 2016).

Terremoto de Tavernes
18/12/1396
ESI-07 X
EMS IX

Terremoto de Estubeny
23/03/1748
ESI-07 IX
EMS VIII

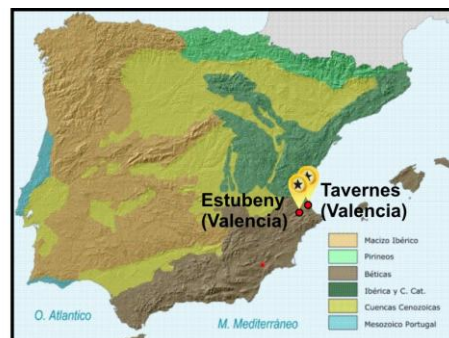


FIGURA 1. Localización de los terremotos de Tavernes de la Vallidigna y de Estubeny.

INTENSIDADES MACROSÍSMICAS

Para establecer las intensidades macrosísmicas se ha utilizado la escala ESI-07 (Michetti, 2007), que permite establecer valores de intensidad a partir del análisis de los efectos geológicos y ambientales que produce el terremoto en el terreno (licuefacciones, grietas, procesos gravitacionales, etc...). Para estos terremotos hemos utilizado los datos establecidos por Giner-Robles et al. (2014) para el terremoto de Estubeny (ESI-07 I_{max} IX, EMS I_{max} VIII) y los datos definidos por Giner-Robles et al. (2015) para el terremoto de Tavernes de la Vallidigna (ESI-07 I_{max} X, I_{max} EMS IX).

CONSTRUCCIÓN DE SHAKEMAPS

Para la obtención de los ShakeMaps se ha seguido la misma metodología propuesta por el USGS. Para la modelización de las aceleraciones horizontales máximas (PGAs) se han utilizado las ecuaciones de Boore et al., (1997), en las que los valores de efecto sitio (Vs30) se han obtenido mediante estimaciones empíricas (Wald y Allen, 2007). Para explicar el gran número de efectos geológicos y ambientales relacionados con estos eventos y catalogados según la escala de intensidad macrosísmica ESI-07, se han introducido dos factores de corrección, uno relacionado con la amplificación topográfica y otro con la existencia de materiales cuaternarios no consolidados (Elez et al., 2015, 2016).

En la modelización se han integrado los datos de intensidad ESI-07 en un entorno SIG al objeto de poder comparar las diferentes modelizaciones realizadas. La topografía utilizada en la modelización ha sido el modelo digital del terreno de alta resolución (5 m/pixel) del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Para todos los mapas de PGAs derivados de la modelización se ha seguido utilizando la misma resolución.

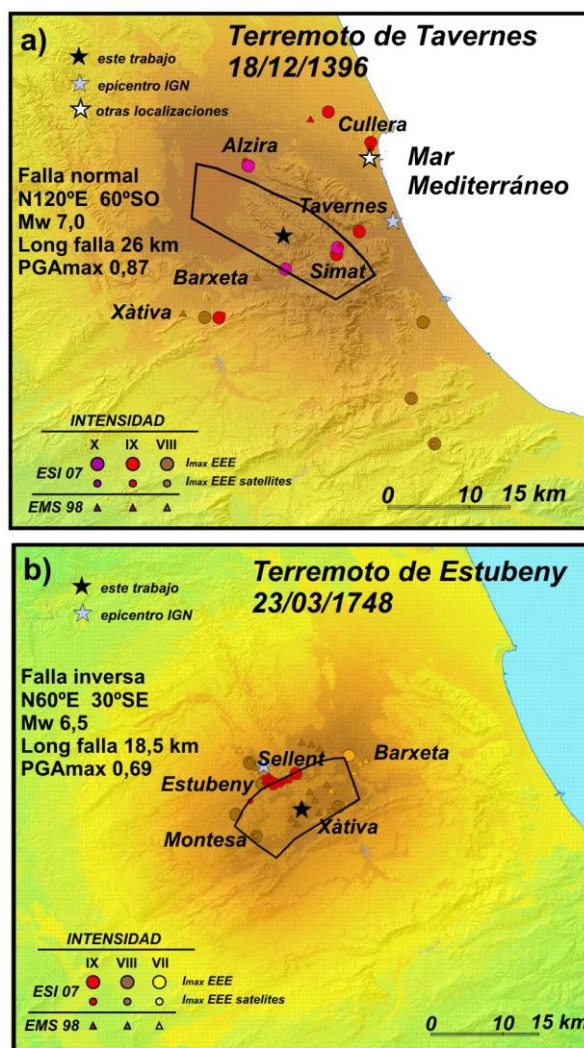
DEFINICIÓN DE FUENTES SÍSMICAS

A partir de las distribuciones de intensidades puntuales definidas a partir de la documentación histórica (Giner-Robles et al., 2014, 2015) se han realizado diferentes modelizaciones de cada uno de los terremotos. Para ello se han realizado ShakeMaps definiendo las características de la fuente sísmica: magnitud, localización y orientación (dirección y buzamiento) y tipo de falla (inversa, normal, desgarre), obteniendo mapas de 5m/pixel de valores de PGA. Posteriormente se ha analizado la coherencia de los datos de intensidad ESI-07 con los valores de PGA obtenidos de la modelización, utilizando para ello la relación de intensidad macrosísmica y aceleración del terreno propuestas por el USGS para la construcción de los ShakeMaps.

Después de realizar modelizaciones para cada uno de los terremotos con distintos tipos, orientaciones y magnitudes de la fuente sísmica se ha elegido el

modelo que optimiza los valores de intensidad ESI-07 con los valores de PGA del ShakeMap.

De esta forma, para el terremoto de Tavernes se ha definido una fuente sísmica de falla normal (Mw 7,0), con una orientación NO-SE y buzamiento de 60° hacia el SO (Fig.2a). El epicentro se localizaría unos 10 km al oeste del epicentro definido por el IGN, entre las poblaciones de Simat de la Vallidigna, Alzira y Barxeta. Y para el terremoto de Estubeny la fuente sísmica definida es una falla inversa (Mw 6,5) según NE-SO con un buzamiento de 30° hacia el SE (Fig.2b); y con el epicentro localizado a unos 8 km al sur del definido por el IGN, entre las poblaciones de Xàtiva y Estubeny.



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(mg)	<.17	.17-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	9.2-18	18-34	34-65	65-124	>124
PEAK VEL.(cm/s)	<0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-16	16-31	31-60	60-116	>116
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X

FIGURA 2. ShakeMaps de los dos terremotos: a) terremoto de Tavernes (23/12/1398) y b) terremoto de Estubeny (23/03/1748). Se representan los datos de intensidades ESI-07 y EMS, y la proyección del plano de falla obtenido para cada uno de los terremotos. Se representa en código de colores (5x5 m de pixel) los valores de aceleración (PGA).

CORRELACIÓN SISMOTECTÓNICA

Se ha realizado una cartografía de síntesis de las principales estructuras tectónicas a partir de la cartografía geológica a escala 1:50.000. De esta cartografía se pueden deducir dos zonas bien diferenciadas: una hacia el SO caracterizada principalmente por cabalgamientos y pliegues orientados según NE-SO y ENE-OSO, y otra situada al este y caracterizada fundamentalmente por fallas normales orientadas NNO-SSE (Fig.2).

Posteriormente se ha realizado el estudio sismotectónico de las fuentes sísmicas aplicando métodos de análisis poblacional de fallas (Método de los Diedros Rectos y Modelo de Deslizamiento (Fig. 3c y d). Para ello se ha considerado una población sintética de datos variando el cabeceo teórico de la estría de falla de cada fuente sísmica obtenida (Fig.3b), y se han determinado las orientaciones de máximo acortamiento (ey) para cada una de las poblaciones, estableciendo en el proceso un mecanismo focal sintético para para cada uno de los terremotos (Fig.3a).

Los resultados obtenidos son coherentes, tanto con la zonación sismotectónica como con los resultados obtenidos aplicando el mismo tipo de análisis a los mecanismos focales inventariados en la zona de estudio (Fig.2).

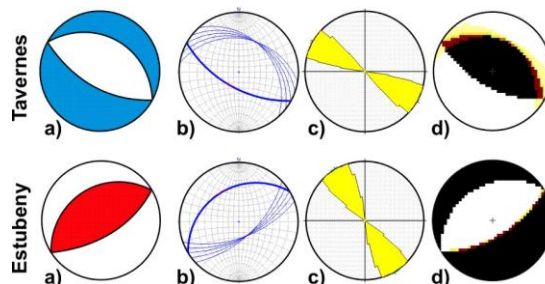


FIGURA 3. Análisis de las fuentes sísmicas deducidas para el terremoto de Tavernes (1396) y Estubeny (1748): a) mecanismo focal sintético deducido. b) Proyección estereográfica del plano de falla y de la población sintética obtenida de las variaciones del cabeceo de la estría sobre el plano teórico de la fuente sísmica definida. Resultados del análisis de la deformación de la población de fallas sintética: c) Rosa de orientaciones de ey y d) Diedros rectos.

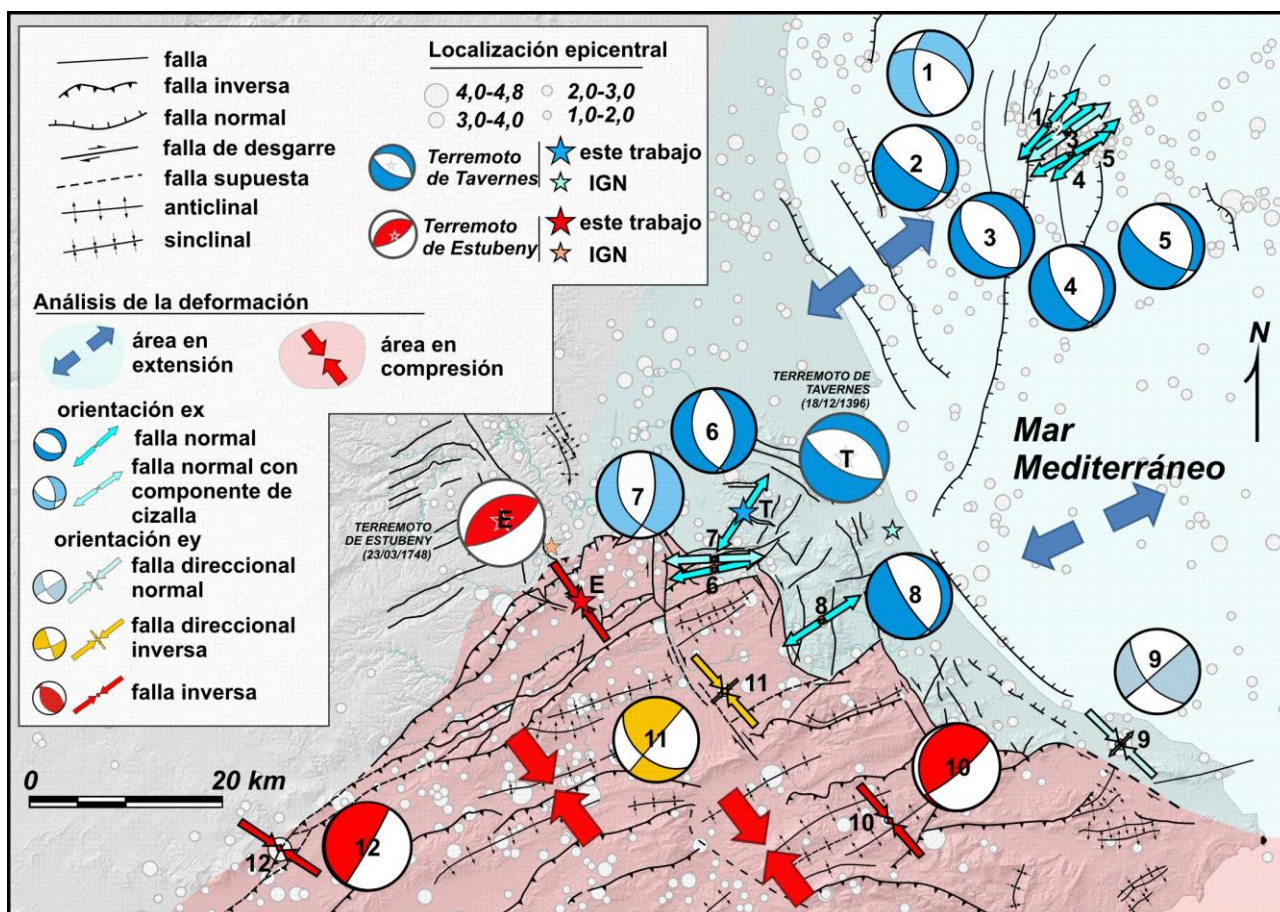


FIGURA 2. Esquema sismotectónico del área analizada en la que se encuentran localizados los dos epicentros de los terremotos históricos considerados. Se representan el análisis de los mecanismos focales de los sismos inventariados en la zona: mecanismos focales 1, 2, 3, 4 y 5 IGN (www.ign.es), mecanismos focales 6, 7, 8 y 9 (Stich et al., 2003, 2010), mecanismos focales 10, 11 y 12 (Herraiz et al., 2000). Los mecanismos focales teóricos de los dos terremotos históricos se han construido a partir de la definición de la fuente sísmica. Se representan también las orientaciones de máximo acortamiento horizontal deducido del análisis individual de los mecanismos focales.