

El terremoto de Lorca-Murcia, España (2011): interpretación morfotectónica

Mario Octavio Cotilla Rodríguez*
Diego Córdoba Barba*

Abstract

It is presented a morphotectonic interpretation of the Lorca earthquake, SW of Spain (may 11, 2011, Mw 5.2). The authors sustain an alternative interpretation on base of their research results. It was made before the earthquake occurrence. The earthquake is produced in a regional compressive field with some transversal seismic active structures where exist a blocks' interaction, faults and seismic knots.

Key words: *earthquake occurrence, faults, seismic knots, morphotectonic interpretation, Lorca.*

Resumen

Se presenta una interpretación morfotectónica del terremoto ocurrido en Lorca, localidad de Murcia, al sureste de España (11 de mayo de 2011, Mw 5.2). Se parte de los resultados de una investigación realizada por los autores antes de la ocurrencia del sismo y que permite sostener una interpretación alternativa a las expuestas por otros autores. Se justifica la ocurrencia del terremoto en un marco compresivo regional con la participación de estructuras activas transverso-diagonales que configuran una zona de debilidad tectónica donde hay interacción de bloques, fallas y nudos sismoactivos.

Palabras clave: *ocurrencia sísmica, fallas, nudos sismoactivos, interpretación morfotectónica, Lorca.*

* Departamento de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, 28040, Madrid, correos electrónicos: macot@fis.ucm.es; dcordoba@fis.ucm.es.

Introducción

La ocurrencia del terremoto de Lorca ($M_w = 5.2$ e $I_{max} = 7$), localidad de Murcia del SE de España, el día 11 de mayo de 2011 (16:47:26,0 horas), despertó un tremendo interés en la comunidad científica española (Figura 1). En este sentido, se han producido varias publicaciones científicas (Frontera *et al.*, 2012; González *et al.*, 2012; Instituto Geográfico Nacional (IGN), 2011; Instituto Geológico y Minero de España (IGM), 2011; International Association of Emergency Managers (IAEM), 2011; Irizarry *et al.*, 2011; López Comino *et al.*, 2012; Martínez Díaz *et al.*, 2012, 2011; Rueda *et al.*, 2011; Vissers y Mejninger, 2011), y un volumen, con 25 trabajos, dedicados a ese terremoto en la revista *Física de la Tierra*, de la Universidad Complutense de Madrid (eds. Buforn Peiró y Martínez Solares, 2012). Por otra parte, el interés de la prensa nacional (escrita, radial y televisiva) también fue muy importante. Las máximas figuras políticas españolas se presentaron en el lugar de los daños, y prometieron no pocas ayudas económicas que, lamentablemente, como en otras regiones del mundo, no llegan o son muy escasas para paliar la situación de los más desfavorecidos. De esto han transcurrido dos años y las quejas son evidentes y justificadas (Asamblea de vecinos de Lorca afectados por el terremoto, 2013; *El País*, 2013; Europapress.es, 2013; Laopiniondemurcia, 2012; Libertadigital.com, 2013; 20 minutos, 2013).

Este terremoto se asoció, sin ningún género de dudas por todos los especialistas a la falla Alhama de Murcia. Sin embargo, el terremoto principal, el premonitor y la réplica más fuerte no están en el trazo de la misma.

En el año 2009 en esta *Revista Geográfica* se publicó el trabajo “Morfotectónica de Murcia, España” (Cotilla Rodríguez y Córdoba Barba, 2009). En él se recogían, extensamente, los aportes para Murcia y su entorno de los especialistas sobre: 1) los terremotos históricos y la sismicidad del periodo instrumental, los mecanismos focales y las isosistas; 2) la tectónica y la geomorfología; 3) la sismotectónica, etc. Expusimos todo el procedimiento de la investigación morfotectónica que se aplicó, y se dieron los resultados, incluidas las figuras correspondientes. En este sentido se explicó que: 1) existe una zona de alineamientos que se corresponde, parcialmente, con la falla Alhama de Murcia, pero que está segmentada en varias partes donde configura nudos y bloques. Destacamos la inflexión de esa zona de alineamientos en el entorno de Lorca; 2) los cuatro terremotos recientes y fuertes en la zona estaban, espacial y temporalmente, muy próximos entre sí: 2a) Lorca-1977 ($M = 4.2$), 2b) Mula-1999 ($M = 4.7$), 2c) Bullas-2002 ($M = 5.0$), 2d) Bullas-2005 ($M = 4.8$); 3) determinamos que esos terremotos estaban localizados en un mismo macrobloque y un mismo mesobloque, pero en diferentes bloques; 4) comentamos que: 4a) las magnitudes eran aproximadamente similares, 4b) las magnitudes eran bajas, pero que habían producido daños importantes dada su poca profundidad e inmediata cercanía a núcleos urbanos; 4c) dichos terremotos con su magnitud, frecuencia y

cercanía no correspondían con la sismicidad histórica; 5) los epicentros no se localizaban sobre la traza de la falla Alhama de Murcia. Así se sostuvo que para Murcia: 1) sus características morfotectónicas eran más complejas que en el resto de España investigado (Asturias (Cotilla *et al.*, 2004), Galicia (Cotilla y Córdoba, 2009), y Sistema Central (Cotilla y Córdoba, 2007); 2) la sismicidad estaba relacionada con la compresión N-S determinada por Herraiz *et al.* (2000); 3) los eventos sísmicos más fuertes debían ser similares (magnitud, intensidad y profundidad) a los ocurridos en el periodo instrumental y no en el histórico.

Toda la metodología morfotectónica aplicada, por los autores, en la Península Ibérica (PI) se encuentra en los siguientes trabajos: Cotilla y Córdoba (2009, 2007, 2004a, b, 2003) y Cotilla *et al.* (2012, 2004). Aquí no se realizará una exposición detallada sobre las características de la PI y tampoco de Murcia. A los efectos se remite al lector a la publicación de Cotilla y Córdoba (2009), y sólo serán expuestos los aspectos imprescindibles para la exposición de las ideas.

Tectónica regional y sismicidad

La región Cordilleras Béticas-Alborán está situada en el área occidental del Mediterráneo, en el S de España. Éste es el extremo O del sistema orogénico alpino. La actual estructura se ha formado en los últimos 25 millones de años. Ella está situada entre las placas euroasiática y africana (Figura 1a). El movimiento de acercamiento de estas placas ha producido compresiones de dirección NNO-SSE y N-S que conlleva a una tectónica compleja con sistemas de fallas asociados N10-30E, N70-100E y N120-150E. El más importante resulta ser el segundo. La línea de costa, por lo general, y el eje principal de las Cordilleras Béticas tienen también la mencionada dirección predominante N70-100E del fallamiento. Este conjunto de fallas es importante en el desarrollo tectónico actual (Herraiz *et al.*, 2000). Posteriormente, Serpelloni *et al.* (2007) confirman la convergencia de las placas mencionadas anteriormente.

La sismicidad de la PI, y de España (Figura 1b) en particular, se considera moderada en relación con otros países de la zona del Mediterráneo, destacándose éstos como los de mayor nivel de Europa. Según la opinión de Mezcua *et al.* (1991) y Mezcua y Martínez-Solares (1983) la sismicidad de la región Ibero-Mogrebí puede ser esquematizada en tres grandes sectores (-30° O/-25° O, -25° O/-13° O, -13° O/-10° O), siendo el más activo el central. Esto deja fuera a Murcia. Por su parte, Udías y Buforn (1991) dedujeron, a partir de 14 mecanismos focales, que el patrón del esfuerzo tectónico regional es de máxima compresión horizontal en la dirección NO-SE. Esta sismicidad es la de mayor frecuencia y energía liberada, conocida como de entre placas y Murcia está enmarcada aquí. También Mezcua (1985) expuso un esquema sismotectónico del SE de España que incluyó a Murcia.

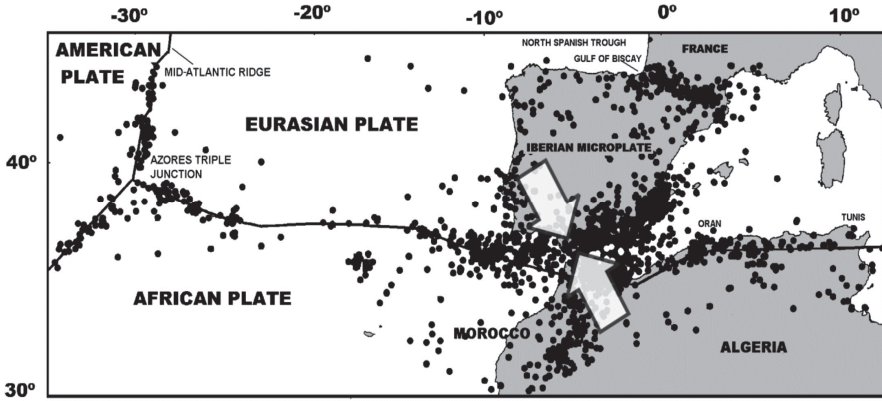


Figura 1a. Esquema tectónico de las placas y sismicidad del entorno de la Península Ibérica. Aparecen: 1) las placas euroasiática y africana; 2) los epicentros (círculos negros); 3) los esfuerzos principales (flechas blancas).

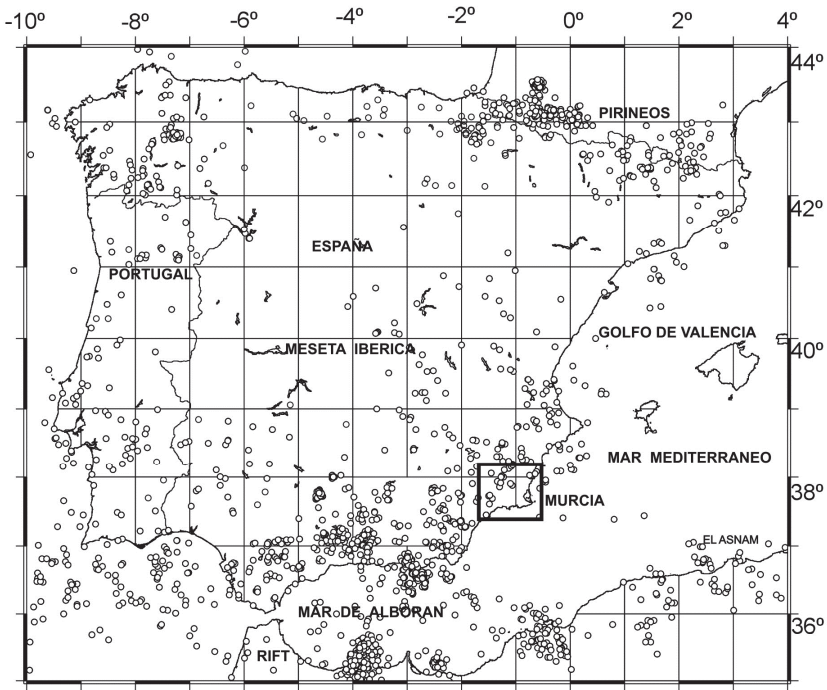


Figura 1b. Mapa de la sismicidad de la Península Ibérica. Aparecen: 1) los epicentros (círculos) del periodo 1979-1998 (Instituto Geográfico Nacional); 2) un cuadrado cubre la región de estudio (Murcia).

En específico la sismicidad del SE de la PI se presenta en forma de series sísmicas con el correspondiente agrupamiento epicentral, temporal y espacial (Peña *et al.*, 1993). Concretamente, la región de Murcia cumple con ese patrón y posee un nivel de sismicidad moderado, dentro de la zona de interacción de placas, y un tensor de esfuerzos regional vinculado con la convergencia de las placas (Herraiz *et al.*, 2000). Como ejemplo de lo anterior, está la zona localizada entre los sistemas de fallas Crevillente y Alhama de Murcia. A ellas se han relacionado dos terremotos históricos fuertes: 1) Vera (I= 9 grados, MSK), y 2) Torrevieja (I= 10 grados, MSK). También en ese entorno han ocurrido, recientemente, cinco eventos sísmicos fuertes con sus correspondientes réplicas. Ellos son: 1) 6 de junio de 1977 (M= 4.2), al SO de Lorca; 2) 2 de febrero de 1999 (M= 4.8) al N de Mula; 3) 6 de agosto de 2002 (M= 5.0) al SO de Bullas (Avilés); 4) 29 de enero de 2005 (M= 4.7) en la Paca; 5) 3 de febrero de 2005 (M= 4.3) al NO de Lorca. Las series sísmicas de los eventos del 2002 y del 2005 cubren prácticamente la misma área (~20 km²). Su figura es elíptica con el eje mayor N-S, entre Avilés y La Paca. Además, las soluciones de los mecanismos focales obtenidos son diferentes para los eventos, pese a su cercanía. Según Buforn y Sanz de Galdeano (2001) el terremoto principal de 1999 en Mula muestra movimiento inverso con plano de falla principal buzando al N. De acuerdo con el IAG el sismo del 2002 en Bullas tiene movimiento de tipo normal-izquierdo y plano nodal N-S. Y el evento de 2005 tiene solución similar al de 2002, pero de mayor componente de tipo normal que de desgarre. Esto nos permite interpretar que las fuentes sismogénicas son diferentes a las fallas activas cercanas y antes mencionadas. Además, el terremoto de Lorca del año 1977 tiene sus isosistas orientadas N-S, lo cual no tiene explicación a no ser que exista un cruce de fallas activas.

Es conocido que la dinámica actual de la PI es una continuación natural en el tiempo del desarrollo histórico-geológico. Ésta está justificada con la sismicidad determinada, histórica e instrumentalmente, y por las características neotectónicas observadas. Los terremotos más fuertes de España, todos históricos, son cuatro de IX (MSK) y ocho de VIII (MSK) (Mezcua y Martínez Solares, 1983). Ninguno de ellos se localiza en Murcia. Sin embargo, en los catálogos del IGN (2011, 2002) y de Mezcua y Martínez Solares (1983) se destaca que en Murcia hay varios eventos sísmicos propios, al menos del periodo 1579-1917 (véase Figura 2). A partir de la interpretación de los datos de sismicidad se han definido fuentes sismogénicas y se le ha caracterizado con valores de I= 5-7 grados (MSK) para periodos de 100, 500 y 1,000 años.

En Murcia hay dos grandes unidades sismotectónicas de aproximadamente igual área (ITGE, 1993): 1) Meridional (Águilas-Mazarrón-Cartagena-Carrascoy-Lorca-Sierra de la Espuña-Mula); 2) Septentrional (Caravaca de la Cruz-Calasparra). La unidad Septentrional tiene características neotectónicas y de sismicidad más nota-

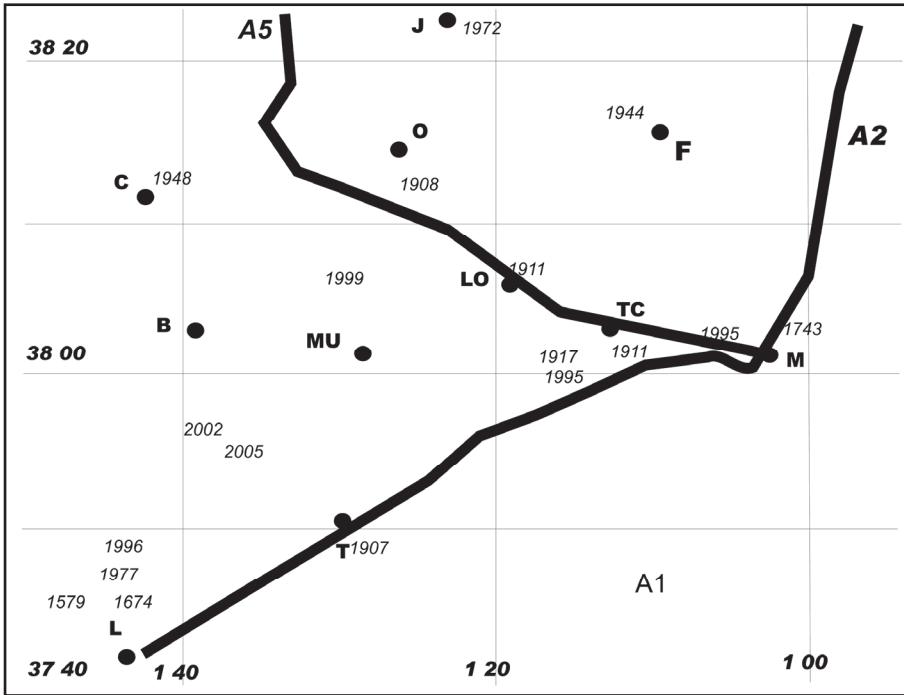


Figura 2. Selección de terremotos en Murcia.

Aparecen: 1) las zonas de alineamientos principales (A2 y A5), 2) las localidades (B= Bullas, C= Ceheguín, F= Fortuna, J= Jumilla, L= Lorca, LO= Lorqui, M= Murcia, O= Ojos, T= Totana, TC= Torres de Cotillas); 3) los terremotos (año).

bles que la Meridional. El límite entre ellas coincide, aproximadamente, con la falla Norbética.

Entre las estructuras neotectónicas del SE de la PI destaca la zona de falla Alhama de Murcia (Bousquet, 1979; Bousquet y Montenat, 1974). Ella es una de las más extensas (~90 km) que atraviesa el SE de la Cordillera Bética. Su dirección es N45°E-N65°E desde el N de la depresión de Huerca-Overa hasta la localidad de Murcia. Esta zona de fallas coincide con un segmento del alineamiento A2. En específico coinciden, aproximadamente, entre las localidades de Lorca-Puerto Lumbreras y Huerca-Overa. La falla intercepta, de forma oblicua, a la falla Carrascos aproximadamente en la localidad Alhama de Murcia, al S del bloque Sierra de Espuña. Entorno a Lorca hay una reconocida diferenciación de esta falla. Así, el segmento del NE se alinea hasta Sotana con la parte S de la Sierra de la Tercia al N; mientras que el segmento del S lo hace con el S de la Sierra de las Estancias. Ambos segmentos limitan el N de la cuenca del río Guadalentín. Es allí donde el ali-

neamiento A2 tiene una importante inflexión. También determinamos que el límite es el alineamiento L4, que coincide en ese sector con la falla de las Viñas. Ese alineamiento es de orden inferior a los mencionados A2 y A5.

Entre los diversos estudios, en la región murciana, con carácter neotectónico y sismotectónico que consideramos son importantes para nuestro trabajo destacamos nueve. De ellos expondremos que: 1) en las Béticas y Mar de Alborán Peña *et al.* (1993) determinaron que las alineaciones obtenidas mediante análisis de grupos coinciden espacialmente con muchos de los terremotos históricos destructivos; 2) en el S de la PI (incluida Murcia) se producen numerosos enjambres de sismos en las intersecciones de grandes fracturas, (López Casado *et al.*, 1987); 3) la falla Alhama de Murcia se estudió desde el punto de vista sismotectónico (Martínez Díaz y Hernández Enrile, 1992); 4) otro estudio sismotectónico se realizó en la falla Alhama de Murcia para explicar el terremoto de Lorca de 1977 (Martínez Díaz, 1999); 5) la sismotectónica del terremoto de Mula de 1999 fue enfrentada por Martínez Díaz *et al.* (1999); 6) la falla Lorca-Alhama demostró tener carácter fractal (Silva, 1996); 7) el entorno del río Mula fue investigado desde el punto de vista geomorfológico (Silva *et al.*, 1996); 8) este tipo de trabajo geomorfológico se realizó también en el sector de Lorca-Totana, concretamente con la falla de Alhama de Murcia (Martínez Díaz, 2000b); 9) trabajos de neotectónica en el área de la falla Las Viñas fueron realizados por Martínez Díaz (2000a).

De acuerdo con los resultados de Cotilla y Córdoba (2009) Murcia se distingue con respecto a Asturias y Galicia en cuanto a la presencia de nudos dobles. Así se entiende que en Murcia: 1) existe mayor complejidad tectónica y nivel de actividad sísmica; 2) las fallas están segmentadas y producen terremotos de magnitud moderada y poco profundos; 3) hay posibilidad de asociar, con cierto grado de certeza, algunos terremotos, de acuerdo a la localidad donde se asumen se produjeron, a los alineamientos y a los nudos de alineamientos.

Terremoto de Lorca

En esta sección presentaremos las ideas y los resultados principales obtenidos por diferentes autores para el caso del terremoto de Lorca del año 2011. En este sentido, el IGN (2011) determinó la magnitud del terremoto ($M_w = 5.2$) y sostuvo que el epicentro estaba a unos 2km al N de Lorca. También estimó la $I_{max} = 7$ grados (EMS) (localidades: Lorca y El Río) y que fue perceptible en Madrid (~460km) y Sevilla (~450km). El evento principal se asoció a la falla Alhama de Murcia y se fundamentó como un terremoto tectónico súbito. Presentó los datos de sismicidad asociada a la serie, donde se aprecia la concentración de eventos débiles con dirección E-O y SO respecto del terremoto principal. Dio los mecanismos focales de dos eventos: premonitor y principal. Ambos tienen gran coincidencia (movimiento de desgarre y ligera componente inversa). No hubo ruptura de la falla en superficie por

el sismo, pero importantes afectaciones en el relieve como caídas y desprendimientos de rocas, y en las estructuras construidas: grietas y derrumbes totales y parciales, hundimientos en carreteras comarcales, etc. El terremoto ocurrió en el entorno de otros eventos similares, relativamente frecuentes y que producen importantes daños a pesar de sus bajas magnitudes.

El International Association of Emergency Managers (IAEM, 2011) sostiene que los daños fueron de ~70,106 euros. La cantidad de heridos sobrepasó el millar de personas. Y más del 50% de las edificaciones lorquinas se vieron afectadas. El informe del IGM (2011) asegura que no hay ruptura superficial alguna en el relieve por el terremoto.

Según Martínez Solares *et al.* (2012): 1) el evento principal tuvo una $M_w = 5.1$; 2) las coordenadas del terremoto principal fueron: 37,7175 N - 1,7114 O, $h = 4$ km; 3) hubo un evento premonitor el mismo día a las 15:05:13.5 horas con los siguientes datos: 37,7196 N - 1,7076 W, $h = 2$ km, $M = 4.5$; y un número importante de réplicas (20 sentidas), siendo la de las 20:37:45.5 horas la más fuerte (37,7308 N - 1,7012 W, $h = 4$ km, $M = 3.9$); 4) se consideró en conjunto como otra serie sísmica, donde los tres eventos mencionados se localizaron ~5.0 km al N de Lorca, y con un mecanismo focal muy parecido; 5) este mecanismo se corresponde con una falla inversa y componente de desgarre, que se asoció a la falla Alhama de Murcia; 6) el área de las afectaciones se puede resumir así: 6a) 23 km con $I = 4$ en Morata, 6b) $I = 3$ a 91 km en Jumilla, a 112 km en Yecla, 6c) $I = 2$ a 345 km en Madrid y 375 km en Sevilla; 7) la cantidad de muertos fue nueve; 8) históricamente se reconocen seis terremotos importantes en Lorca y sus inmediaciones: 8a) Lorca: 1579.01.30 ($I = 7$), 1674.08.28 ($I = 8$), y 1818.12.20 ($I = 6-7$), 8.b) 1855.11.11 ($I = 6-7$) al SE de Librilla, 1883 ($I = 6-7$) en Ceutí, y 1908.09.26 ($I = 6-7$) al NE de Mula.

Buform *et al.* (2012) sostienen que el terremoto de Lorca ($M_w = 5.2$): 1) tiene un mecanismo de falla inversa con planos de dirección E-O y foco superficial; 2) el plano de ruptura es OSO-ENE; 3) hay complejidad en la zona ya que coexisten en espacio y tiempo, muy reducidos, y en un marco regional de compresión N-S, mecanismos de: 2a) falla normal, Lorca-1977, 2b) falla inversa, Mula-1999, 2c) falla de desgarre, Bullas-2002, y Bullas-2005.

Con la relocalización y el análisis de 113 eventos de la serie sísmica de Lorca, Alguacil de la Blanca *et al.* (2012) aseguran que: 1) las réplicas de los primeros días se distribuyen en dirección NE-SO al SO del terremoto principal; 2) es probable una propagación de la ruptura al SO y a lo largo de la falla Alhama de Murcia; 3) los mecanismos focales obtenidos para los tres eventos de mayor magnitud (premonitor, principal y réplica) es similar: fallamiento oblicuo y predominantemente inverso.

A partir de cinco campañas de mediciones GPS (red CuaTeNeo: Cuantificación de la Tectónica y Neotectónica en la parte oriental de la Península Ibérica) del pe-

riodo 1977-2011 Echeverría *et al.* (2012) dicen que: 1) las tres estaciones localizadas al S de la falla Alhama de Murcia muestran la uniformidad del movimiento y tienen velocidades máximas de 1.4-1.8mm/año y con orientación NNO, que es oblicua a la falla. Esa dirección coincide con la convergencia entre Eurasia y Nubia; 2) las estaciones de la parte noroccidental de la falla tienen velocidades inferiores (0.5-0.6 +/- 0.3mm/año) y con una componente al O respecto a Eurasia; 3) la falla es una divisoria de dos regímenes tectónicos distintos; 4) la falla acumula la mayoría de la deformación determinada con los GPS; 5) no se ha registrado deformación co-sísmica relacionada con el terremoto. Sin embargo, Frontera Genovard *et al.* (2012) determinan a partir de trabajos con DInSAR (Synthetic Radar Differential Interferometry) y modelación numérica que el terremoto de Lorca tuvo una deformación co-sísmica vertical y superficial. Definen el trazo de la falla Alhama de Murcia y aseguran que: 1) hay un levantamiento de hasta 3cm del bloque superior, y que esto coincide con los estimados por el modelo numérico; 2) la deformación tectónica del bloque inferior está enmascarada por la subsidencia que relacionan con la extracción de agua del subsuelo.

González *et al.* (2012) responsabilizan a la falla Alhama de Murcia por el terremoto de Lorca. Aseguran que ella es una estructura compuesta de diferentes segmentos, y con movimiento de desgarre sinestroso y componente inversa. También sostienen que: 1) determinaron deformaciones corticales en la zona epicentral con técnicas geodésicas (InSAR: Interferometría de radar por satélite, y GPS); 2) el daño de un muro de contención en las márgenes de la rambla del río Guadalentín, a su paso por Lorca, puede ser considerado como una evidencia de la ruptura en superficie de la falla; 3) la falla tiene dos segmentos en las inmediaciones de Lorca (La Tercia-Alhama de Murcia y Lorca-Alhama de Murcia). Esos segmentos modifican el rumbo en ese entorno de ~N225E. Tal cambio puede explicar el reparto del deslizamiento co-sísmico; 4) la ruptura comenzó en el segmento oriental de la falla (La Tercia-Alhama de Murcia); 5) es probable que este evento de 2011 rompiera en el mismo segmento que el de 1818.

Una interpretación tectónica del terremoto de Lorca aparece en Martínez Díaz *et al.* (1992). Así sostienen que: 1) la falla Alhama de Murcia es la fuente sismogénica responsable de la serie sísmica; 2) la naturaleza y distribución de los efectos superficiales parecen asociados a las características del terremoto; 3) la mayor parte del movimiento del suelo se concentró en un pulso de amplitud relativa considerable en la dirección NO-SE.

De todo esto podemos extraer, con certeza, los siguientes datos: 1) ocurrió un terremoto en las inmediaciones de Lorca (11 de mayo de 2011, Mw= 5.2); 2) no se produjo ruptura alguna en el relieve; 3) hubo colapso y graves daños en muchas edificaciones de Lorca; 4) el foco del terremoto fue somero ($h < 5$ km); 5) las réplicas se alinean en dirección SO-NE; 6) no hubo deformación co-sísmica; 7) hay diferen-

cias tectónicas entre los sectores al N y al S de la dirección de la falla Alahama de Murcia, que se considera la responsable del terremoto; 7) ninguno de los epicentros de los eventos más fuertes se localiza en el trazo de la mencionada falla; 8) el mecanismo focal corresponde a una falla inversa con planos de dirección E-O y plano de ruptura OSO-ENE; 9) la perceptibilidad del terremoto principal alcanzó Madrid (~460km al NO) y Sevilla (~450km al O).

Análisis morfotectónico de Murcia y su entorno

Este epígrafe se basa en los resultados morfotectónicos de Cotilla y Córdoba (2009). De ellos es posible asegurar que en la región murciana hay al menos dos sistemas de fallas de desgarre, aproximadamente paralelos, de dirección ENE-OSO y NE-SO. Ellos se denominan: 1) Crevillente (localidades de Mula-Bullas-Coy-Doña Inés), 2) Alhama de Murcia (localidades de Sotana-Lorca). Ambos sistemas se extienden y limitan a las cuencas de Mula y Lorca.

El estudio de las fracturas en el territorio murciano indica una definida tendencia al incremento en la cantidad de fracturas y el tamaño de las mismas hacia las zonas del interior del territorio, es decir, hacia la zona denominada Béticas Externas. Distinguimos una tendencia de alineación al NE de las zonas, aunque hay sectores donde las inflexiones de las mismas indican una orientación más reciente al NO, específicamente en el entorno de las localidades de Murcia-Torres de Cotillas-Lorquí-Ojos. Esto configura un cruce de zonas entorno a Murcia-Sierra de Carras-coy.

Con los esquemas de morfoisohipsas (Figura 3, Cotilla y Córdoba, 2009) se determinó un sistema de bloques muy bien diferenciados en las partes N y S. En la zona N están los bloques de mayor área como: Sierra de Gador, Sierra de Filabres y Sierra de las Estancias. Mientras que en la parte S aparecen los bloques Sierra de Alhamilla, Sierra de Almenara, Sierra de Espuña y Sierra de Carrascoy. Las localidades Sotana, Alhama de Murcia, Librilla, Alcantarilla, Murcia, Molina del Segura, Ceutí, Lorquí, Mula, Fortuna y Blanca están en el escalón de altitud inferior a 500m. Mientras que Bullas y Lorca están por encima de ese valor. En el segmento altimétrico intermedio se desarrolla la falla Alhama de Murcia. Además, en ese entorno se ha reportado la inmensa mayoría de los sismos históricos con intensidad mayor o igual a 7 grados, escala MSK.

Lorca está al O del PPPO, entre tres sierras: 1) al S la Sierra de la Tercia, 2) al SO la Sierra de las Estancias (que acuña el recorrido del río Guadalentín), y 3) al NE la Sierra de Espuña. Es una cuenca asimétrica en la dirección NO a SE del río principal Guadalentín hasta Lorca, donde tuerce bruscamente su recorrido al NE-E con drenaje perfectamente mayoritario del lado NE. Esta anomalía del mayor afluente del S del río Segura, entorno a Lorca se corresponde con una muy bien definida zona de alineamientos. Se distingue, en el segmento fluvial al N de Lorca,

que el río está encajado, mientras que al S y después de la inflexión el río tiene carácter meándrico. Este comportamiento lo interpretamos, a partir del levantamiento de la zona y por la actividad reciente, como fallamiento activo. Sus características morfométricas son: $K_s = 0.71$, orden 3, pendiente (km/km) = 18.1.

También se delimitaron tres zonas neotectónicas sobre la base de los resultados geomorfológicos. Ésta regionalización muestra una definida dirección NE-SO con bloques en ascenso diferencial, aunque lo que destaca es una pronunciada alineación NO de las zonas entorno a las localidades de Murcia-Mula-Bullas-Ojos. El cruce de ambas alineaciones se produce en Murcia-Alcantarilla-Sierra de Carrascoy. La diferenciación de las zonas más activas en la dirección del alineamiento A2, y su correspondiente fragmentación en dos segmentos. Y al comparar este mapa con los correspondientes de Asturias (Cotilla *et al.*, 2004) y Galicia (Cotilla y Córdoba, 2003), es posible sostener que Murcia resulta ser mucho más activa; lo cual tiene explicación a partir de su localización en una zona límite de placas.

Los resultados de la densidad de epicentros y actividad sísmica indican: 1) la fragmentación y el espaciamiento de la sismicidad; 2) una definida orientación principal NE-SO de la sismicidad; 3) la disminución de los valores de intensidad sísmica en dirección NO; 4) la mayor parte de la sismicidad queda confinada entre los alineamientos A2 y A5; 5) los valores obtenidos son inferiores que los correspondientes a las zonas de Almería y Sevilla (Cotilla y Córdoba, 2004); 4) las fallas Alhama de Murcia y Carrascoy se corresponden, fundamentalmente, con la zona 2 y con el límite B de la zona 3, al S; 5) la vinculación de la falla Crevillente con la zona 1, la de valores menores.

La ordenación morfotectónica hacia los niveles inferiores de la clasificación conlleva la sucesiva disminución en dimensión superficial de las unidades territoriales (UT): mesobloque, bloque, microbloque y nanobloque. Pero hay también un significativo incremento en cantidad. Entonces se configura el siguiente resultado: macrobloque = 1, mesobloques = 14, bloques = 47, microbloques = 160, y nanobloques = 500. Sobre la base de índices geomorfológicos se ha determinado la tendencia relativa del movimiento. Los morfoalineamientos (longitudinales y transversales) configuran una compleja red que tiene distinto orden, ya que ellos funcionan como límites naturales de las UT. Así hay 15 zonas de alineamientos principales que coinciden, generalmente, con fallas activas reconocidas. Las intersecciones de esos alineamientos (áreas más activas) alcanzan la cifra de 76.

De los alineamientos y los nudos principales, así como las UT de mayor categoría (mesobloques) delimitados en Murcia, se muestran en la Figura 3. De ellos destacan dos como los más importantes: 1) A2 (dirección predominante NE), 2) A5 (dirección predominante NO). Estos elementos lineales tienen un K_s para la región murciana de 0.96 y 0.90, respectivamente. Es decir, que tienen un definido carácter lineal muy poco afectado por otras estructuras transversales. También en estos ali-

neamientos hay un total de 12 nudos y de ellos son seis los nudos dobles. Los alineamientos A2 y A5 se interceptan en las inmediaciones de Alcatarilla y Murcia donde configuran el nudo N9, y donde interaccionan tres macrobloques. Esto significa que el nudo tiene una categoría tectónica de mucha importancia. El alineamiento A2 marca el N de las sierras: de Carrascoy, de la Cresta del Gallo y de Cristo. Específicamente en el alineamiento A2 se ha determinado que están los nudos: N9 de orden 2, N3 y N4 de orden 3, y N1, N2 y N5 de orden 4. Al S del A2 hay cinco mesobloques, y al N del A2 y S del A5 hay seis mesobloques. Al N del A2 y N del A5 hay tres mesobloques. Mientras que la zona de alineamientos A5 en el sector de Murcia delimita al N una mayor cantidad de mesobloques y bloques.

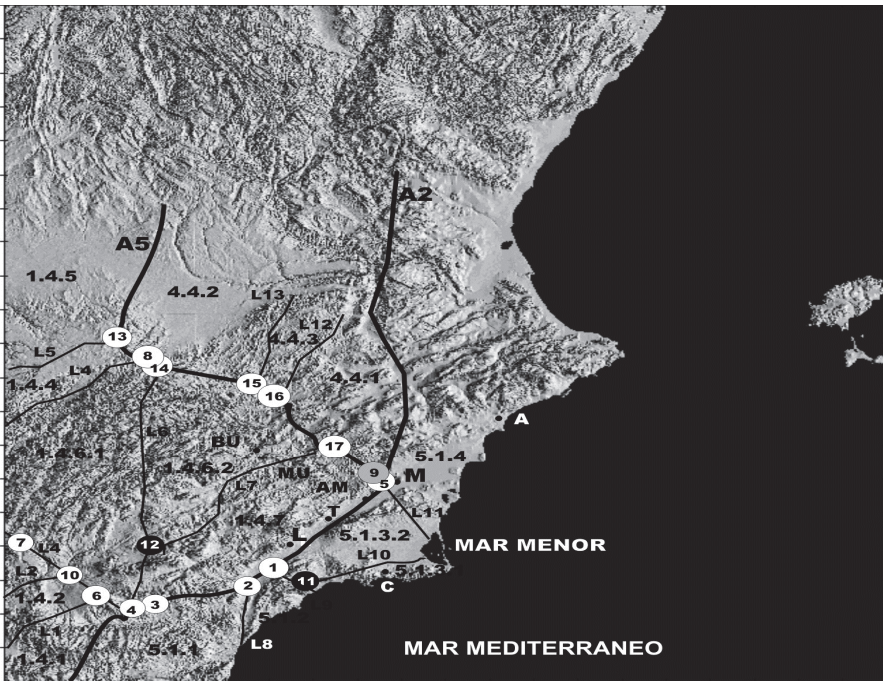


Figura 3. Mapa morfo-tectónico simplificado de Murcia. Aparecen: 1) localidades (A= Alicante, AM= Alhama de Murcia, B= Bullas, M= Murcia, MU= Mula); 2) los alineamientos principales (líneas negras): 2do. orden [gruesa= A2, A5], 3er. orden [fina= L1, L2, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10, L11, L12, L13]; 3) nudos de alineamientos principales (círculos): 2do. orden [color gris= 9], 3er. orden [color blanco= 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 13, 14, 15, 16, 17], 4to. orden [color negro= 11, 12]; 4) mesobloques: 1.4.1.

Es un hecho singular, reconocido por distintos autores (Benito *et al.*, 2005, 2007; Buform *et al.*, 2012; Mancilla *et al.*, 2002; Mezcua *et al.*, 1977), que localidades tan próximas de una misma región tengan características sismotectónicas diferentes. Éste es el caso de los sismos: 1) Avilés-SO de Bullas (29 de enero de 2005), 2) La Paca (6 de agosto de 2002), 3) Mula (2 de febrero de 1999), y 4) Lorca (6 de agosto de 1977), a los se hizo referencia anteriormente. Sin embargo, tales diferencias pueden explicarse a partir de los resultados morfotectónicos. Así comprobamos que los epicentros (zonas) están en los mismos macrobloque (M1.4) y mesobloque (M1.4.6). Es decir, que tienen una misma historia de desarrollo geológico. Pero, se distinguen espacialmente por su ubicación en distintos bloques. Esto significa que son zonas de características neotectónicas diferentes. De tal forma, que los dos primeros eventos sísmicos y el cuarto están en el bloque 1.4.6.1, y al O del sistema de microbloques NO-SE de las Sierras de las Cabras, de Lavia, de Cambrón y de Espuña. Mientras que el terremoto de Mula está en el bloque 1.4.6.2, al E del bloque anterior y en un escalón hipsométrico inferior. Además, el hecho de que los epicentros de Mula y de Avilés-SO de Bullas tengan todas las réplicas agrupadas en áreas con forma de elipses con ejes mayores N-S permite asegurar la polarización de la propagación de la energía.

Conclusiones

La sismicidad del SE de España está justificada por la convergencia de las placas África y Euroasiática. El terremoto de Lorca de 2011 no es un fenómeno extraordinario y su explicación está en la dinámica contemporánea de las placas litosféricas mencionadas.

Los varios eventos sísmicos (Mmax de 4.2 a 5.1) ocurridos en el intervalo temporal 1977-2011 en las inmediaciones de Murcia (Bullas – Lorca – Mula), se pueden interpretar a partir de los resultados morfotectónicos. También los diferentes mecanismos focales de los eventos sísmicos (tan cercanos en tiempo y espacio): 1) Áviles-SO de Bullas (29 de enero de 2005), 2) La Paca (6 de agosto de 2002), 3) Mula (2 de febrero de 1999), y 4) Lorca (6 de junio de 1977) está justificada por la localización en los mismos macrobloque y mesobloque (M1.4.6). Es decir, que tienen una misma historia de desarrollo geológico; pero en distintos bloques (1.4.6.1 y 1.4.6.2), donde las características neotectónicas son diferentes.

Bibliografía

Alguacil de la Blanca, G.; Vidal Sánchez, F.; Stich, D.; Mancilla Pérez, F.; López Comino, J.A.; Morales Soto, J. y Navarro Bernal, M., “Parámetros de la fuente y del movimiento del suelo del terremoto de Lorca 2011”, *Física de la Tierra*, vol. 24, pp. 41-69, 2012.

Asamblea de vecinos de Lorca afectados por el terremoto, 2013.

Benito, B.; García Mayordomo, J.; García Rodríguez, M.J. y Gaspar Escribano, J.M., *Marco sismotectónico global del terremoto del 29 de enero de 2005 al suroeste de la provincia de Murcia*, 2005.

Benito, B.; Capote, R.; Murphy, P.; Gaspar Escribano, J.M.; Martínez Díaz, J.J.; Tsighe, M.; Stich, D.; García Mayordomo, J.; García Rodríguez, M.J.; Jiménez M.E., Insua Arévalo, J.M.; Álvarez Gómez, J.A. y Canova, C., “An overview of the damaging and low magnitude Mw 4,8 La Paca earthquake on 29 January 2005: Context seismotectonics and seismic risk implications for Southeast Spain”, *Bulletin Seismological Society of America*, vol. 97, no. 3, pp. 671-690, 2007.

Bousquet, J.C., “Quaternary strike-slip faults in southeastern Spain”, *Tectonophysics*, vol. 52, pp. 277-286, 1979.

Bousquet, J.C. y Montenat, C., “Présence de décrochements NE-SW plioquaternaires dans les Cordillères Bétiques Orientales (Espagne). Extension et signification general”, *C.R.Acad.Sci.*, tomo 278, pp. 2617-2620, Paris, 1974.

Buform Peiró, E. y Martínez Solares, J.M. (eds.), *Revista Física de la Tierra*, Universidad Complutense de Madrid, vol. 24, 2012, 362 pp.

Buform, E. y Sanz de Galdeano, C., “Focal mechanism of Mula (Murcia, Spain) earthquake of February 2, 1999”, *Journal of Seismology*, vol. 5, pp. 277-280, 2001.

Buform Peiró, E.; Pro Muñoz, C.; Cesce, S.; Sanz de Galdeano, C. y Udías Vallina, A., “Proceso de ruptura del sismo de Lorca del 11 de mayo 2011”, *Física de la Tierra*, vol. 24, pp. 71-82, 2012.

Cotilla Rodríguez, M.O.; Córdoba Barba, D. y Sánchez Dulcet, F., “Morphotectonic study of two regions in the Centre-South segment of Spain: Córdoba-Granada”, *Geotectonics*, vol. 47, no. 3, pp. 215-240, 2012.

Cotilla, M.O. y Córdoba, D., “Morfofotectónica de Murcia, España”, *Revista Geográfica*, núm. 146, pp. 77-110, 2009.

———, “A morphotectonic study of the Central System, Iberian Peninsula”, *Russian Geology and Geophysics*, vol. 48, no. 4, pp. 378-387, 2007.

———, “Morphotectonics of the Iberian Peninsula”, *Pure and applied geophysics*, vol. 161, no. 4, pp. 755-815, 2004.

———, “Present geomorphological characteristics of Alboran islet and surroundings, Spain: a diagnosis”, *Geografía Física e Dinámica Cuaternaria*, vol. 27, no. 1, pp. 3-19, 2004.

———, “Caracterización morfofotectónica de Galicia, España”, *Revista Geofísica*, núm. 58, pp. 5-56, 2003.

Cotilla, M.O.; Córdoba, D. y Herraiz, M., “Main morphotectonic characteristics of Asturias, Spain”, *Geofísica Internacional*, vol. 44, no. 1, pp. 65-101, 2005.

El País, 11 de mayo de 2013, Madrid.

<Europapress.es>, 2013. “El PSOE acusa al PP de no querer buscar soluciones a los problemas por el terremoto y las inundaciones de Lorca”.

Frontera, T.; Concha, A.; Blanco, P.; Echeverría, A.; Goula, X.; Arbiol, R.; Khazaradza, G.; Pérez, F. y Suriñach, E., “DInSAR coseismic deformation of the May 11 Mw 5.1 Lorca earthquake (Southern Spain)”, *Solid Earth Discussions*, vol. 3, pp. 111-119, 2012.

González, P.J.; Tiampo, K.F.; Palano, N.; Cannavó, F. y Fernández, J., “The 2011 Lorca earthquake slip distribution controlled by groundwater cristal unloading”, *Nature Geoscience*, vol. 5, no. 11, pp. 821-825, 2012.

Herraiz, M.; De Vicente, G.; Lindo, R.; Giner, J.; Simón, J.L.; Gómez-Casado, J.M.; Vadillo, O.; Rodríguez-Pascuas, M.; Cicuendez, J.I.; Casas, A.; Cabañas, L.; Rincon, P.; Cortés, M.; Ramírez, M. y Lucini, M., “The recent (Upper Miocene to Quaternary) and present tectonic stress distribution in the Iberian Peninsula”, *Tectonics*, vol. 19, no. 4, pp. 762-781.

IAEM, International Association of Emergency Managers, *Informe sobre el terremoto de Lorca, 11 de mayo de 2011*, 2011, 60 pp.

IGN, Instituto Geográfico Nacional, *Informe del sismo de Lorca del 11 de mayo de 2011*, 2011, 138 pp.

———, *Informe del terremoto de Bullas (Murcia) 6 de agosto 2002*, 2002.

———, Instituto Geográfico Nacional, *Segundo informe general*, Serie sísmica de Mula (Murcia), Subdirección General de Geodesia y Geografía, Madrid, 1999, 35 pp.

IGM, Instituto Geológico y Minero de España, *Informe geológico preliminar del terremoto de Lorca del 11 de mayo del año 2011, 5.1 Mw*, 2011.

ITGE, Instituto Tecnológico y Geominero de España, *Mapa neotectónico, sismotectónico y de actividad de fallas de la región de Murcia, escalas 1:200,000 y 1:100,000*, Madrid, 1993.

Irizarry, J.; Frontera, T.; Goula, X. y Barbat, A.H., “Learning from Lorca, Spain earthquakes of May 11, 2011”, *EERI Newsletter*, vol. 45, núm. 6, p. 3, 2011.

<Laopiniondemurcia>, 2012.

<Libertdadigital.com>, 2013.

López Comino, J.A.; Mancilla, F.; Morales, F. y Stich, D., “Rupture directivity of the 2012 Mw 5.2 Lorca earthquake (Spain)”, *Geophysical Research Letters*, vol. 39, no. 3, 2012.

López Casado, C.; Estevez, A.; Pina, J.A. y Sanz de Galdeano, C., “Alineaciones sismotectónicas en el sureste de España. Ensayo de delimitaciones de fuentes sísmicas. Mediterránea Ser”, *Estudios Geológicos*, vol. 6, pp. 5-38, 1987.

- Mancilla, F.; Ammon, Ch.J.; Herrman, R.B. y Morales, J., “Faulting parameters of the 1999 Mula earthquake, southeastern Spain”, *Tectonophysics*, vol. 354, pp. 139-155, 2002.
- Martínez Díaz, J.J., “Neotectónica y tectónica activa de la falla las Viñas: influencia de las perturbaciones del campo de esfuerzos regional generados por la falla de Alhama de Murcia”, *Boletín Geológico y Minero*, vol. 111, núm. 1, pp. 33-52, 2000.
- , “Indicios geomorfológicos indicativos de tectónica activa en el sector Lorca-Totana de la falla de Alhama de Murcia”, *Boletín Geológico y Minero*, vol. 111, núm. 1, pp. 67-76, 2000.
- , “Sismotectónica de la falla de Alhama de Murcia. Implicaciones sismogénicas del terremoto de Lorca de junio-1977 (Mb: 4.2)”, *Estudios Geológicos*, vol. 55, pp. 251-266, 1999.
- Martínez Díaz, J.J. y Hernández Enrile, J.L., “Uso de deformaciones de travertinos para caracterizar la actividad paleosísmica de una falla oblicua activa: la falla de Alhama de Murcia (Cordilleras Béticas, España)”, *Acta Geológica Hispánica*, vol. 36, no. 3-4, pp. 297-313, 2001.
- , “Tectónica reciente y rasgos sismotectónicos en el sector Lorca-Totana de la falla de Alhama de Murcia”, *Estudios Geológicos*, vol. 48, pp. 153-162, 1992.
- Martínez Díaz, J.J.; Bejar Pizarro, M.; Álvarez Gómez, J.A.; Mancilla, F.; Stich, D.; Herrera, G. y Morales, J., “Tectonic and seismic implications of an intersegment ruptura. The damaging May 11th 2011 Mw 5.2 Lorca, Spain, earthquake”, *Tectonophysics*, doi: 10.1016/j.tecto.2012.04.010, 2012.
- Martínez Díaz, J.J.; Rigo, A.; Louis, L.; Capote, R.; Hernández Enrile, J.L.; Carreño, E. y Tsige, M., “Caracterización geológica y sismotectónica del terremoto de Mula (febrero de 1999, Mb: 4.8) mediante la utilización de datos geológicos, sismológicos y de interferometría de RADAR (INSAR)”, *Boletín Geológico y Minero*, vol. 113, núm. 1, pp. 23-33, 1999.
- Martínez Díaz, J.J.; Álvarez Gómez, J.A.; García Mayordomo, J.; Insua Arévalo, J.M.; Martín González, F. y Rodríguez Peces, M.J., “Interpretación tectónica de la fuente del terremoto de Lorca de 2011 (Mw 5.2) y sus efectos superficiales”, *Boletín Geológico y Minero*, vol. 123, núm. 4, pp. 441-458, 2011.
- Martínez Solares, J.M., Cantavella Nadal, J.V.; Cabañas Rodríguez, L. y Valero Zornosa, F., “El terremoto de Lorca de 11 de mayo de 2011 y la sismicidad de la región”, *Física de la Tierra*, vol. 24, pp. 17-40, 2012.
- Mezcua, J., “Esquema sismotectónico del sureste de España”, *Mecanismos de los terremotos y tectónica*, pp. 225-232, Universidad Complutense de Madrid, 1985.

- Mezcua, J.; Herraiz, M. y Buforn, E., “Study of the 6 June 1977 Lorca (Spain) earthquake and its aftershock sequence”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 74, pp. 167-179, 1977.
- Peña, J.A.; Vidal, F.; Posadas, A.M.; Morales, J.; Alguacil, G.; de Miguel, F.; Ibáñez, J.M.; Romacho, M.D. y López-Linares, A., “Space clustering properties of the Betic-Alboran earthquakes in the period 1962-1989”, *Tectonophysics*, vol. 221, pp. 125-134, 1993.
- Rueda, J.; Mezcua, J. y García Blanco, R.M., “Directivity effects of the May 11, 2011 Lorca (Spain) Mw= 5.1 earthquake”, *Fall Meeting AGU*, San Francisco, Communications, S53B-2277, 2011.
- Serpelloni, E.; Vannucci, G.; Argnani, A. y Casula, ÇG., “Kinematics of the western Africa-Eurasia plate boundary from focal mechanisms and GPS data”, *Geophysical Journal International*, vol. 169, pp. 1180-1200, 2007.
- Silva, P.G., “Geometría fractal de la zona de falla Lorca-Alhama (Murcia, SE España)”, *Geogaceta*, vol. 20, núm. 6, pp. 1385-1388, 1996.
- Silva, P.G.; Mather, A.E.; Goy, J.L.; Zazo, C. y Harvey, A.M., “Controles en el desarrollo y evolución del drenaje en zonas tectónicamente activas: el caso del río Mula (región de Murcia, SE España)”, *Revista de la Sociedad Geológica de España*, vol. 9, núms. 3-4, pp. 269-283, 1996.
- Vissers, R.L.M. y Mijninger, B.M.L., “The 11 May earthquake at Lorca (SE Spain) viewed in a structural-tectonic context”, *Solid Earth Discussions*, vol. 3, pp. 199-204, 2011.
- 20 Minutos, 11 de mayo de 2013, Madrid.