



Introducción a los Efectos Geológicos y Arqueológicos de los terremotos en España

Introduction to Geological and Archaeological effects of the earthquakes in Spain

P.G. Silva ⁽¹⁾, P. Huerta ⁽¹⁾

(1) Dpto. Geología, Escuela Politécnica Superior de Ávila, Universidad de Salamanca. Ávila. SPAIN. pgsilva@usal.es

Los recientes eventos sísmicos ocurridos en España y a nivel global han despertado el interés sobre este tipo de procesos entre la comunidad científica y en la sociedad. Los terremotos de Bullas (2002), La Paca (2005) y finalmente el ocurrido en Lorca el 11 de Mayo de 2011, han puesto de manifiesto que nuestro territorio no es ajeno a los movimientos sísmicos y especialmente a los fuertes. La Ciudad Romana de Baelo Claudia (Cádiz, 365-390 AD), Tabernes de Valldinga (Valencia, 1319 AD), Atarfe (Granada, 1431 AD), Carmona (Sevilla; 1504 AD), Málaga (1680 AD), Lisboa (1755 AD), Torrevieja (Alicante, 1829 AD) y Arenas del Rey (Granada, 1884), son algunos de los terremotos más destructivos que han afectado a la península en tiempos históricos. Sus intensidades máximas fueron de entre IX y X EMS y sus magnitudes estimadas entre 6,2 y 6,9 Mw, excepción claro del terremoto de Lisboa de 1755 AD con magnitud estimada en torno a los 8,9 Mw que afectó a toda la fachada atlántica y generó un destructivo tsunami de características similares al ocurrido durante el Terremoto de Honsu (Japón) en Marzo de 2011 (9.0 Mw).

Desde finales del Siglo XX, una creciente comunidad de científicos nucleada en torno a AEQUA comenzó con el estudio más o menos sistemático de fallas cuaternarias introduciendo en el vocabulario geológico hispano, términos tales como falla activa, paleosismicidad, paleosismología y más recientemente durante comienzos del Siglo XXI la arqueosismología. Todos estos esfuerzos cristalizaron en la creación del Grupo de Trabajo AEQUA de Tectónica Cuaternaria, Paleosismología y Arqueosismología QTECT-AEQUA en el año 2010, el cual viene colaborando activamente con su matriz en INQUA, constituida por el *IFG on Paleoseismology and Active Tectonics (INQUA TERPRO)*. La Creación de dicho grupo de trabajo tuvo lugar durante el primer congreso sobre fallas activas en la Península Ibérica, IBERFAULT (Sigüenza, Octubre 2010). Previamente, en el año 2009, se había constituido el Grupo de Trabajo Español del Proyecto IGCP-567 "Earthquake Archaeology". Su constitución oficial tuvo lugar durante el "1st INQUA-IGCP-567 International Workshop on Active Tectonics, Paleoseismology and Archaeoseismology" en Septiembre de 2009,



promovido y financiado por AEQUA, INQUA e IGCP (Pérez-López *et al.*, 2009). Desde entonces se han celebrado otros tres INQUA-IGCP 567 Workshops en Corinto (Grecia; Grützner *et al.*, 2011), Morelia (México; Pérez-López *et al.*, 2012) y Aachen (Alemania; Grützner *et al.*, 2013), así como diferentes congresos (e.g. IBERFAULT, Sigüenza, 2010) y sesiones temáticas en reuniones científicas AEQUA (Faro, 2009; Andorra, 2011; Sevilla, 2013). Toda esta actividad científica ha cristalizado en un importante volumen de información y un gran número de publicaciones científicas sobre tectónica activa y efectos ambientales, geológicos y arqueosismológicos de los terremotos en España, los cuales se multiplicaron a causa del mencionado Terremoto de Lorca. Así mismo la participación española ha sido importante en volúmenes especiales de carácter internacional publicados recientemente (e.g. Reicherter *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2011).

El presente volumen recoge una serie de contribuciones sobre los efectos geológicos y arqueosismológicos de los terremotos presentadas en los foros científicos mencionados anteriormente. Éstos siempre tuvieron una nutrida representación española tanto en participación como en su organización. Algunas de las contribuciones seleccionadas han sido parcialmente publicadas en revistas internacionales, pero la mayoría no, y se trata de versiones ampliadas y actualizadas de trabajos presentados en esos congresos. En cualquier caso, este volumen especial de Cuaternario y Geomorfología pretende dar un repaso de los progresos y el estado de conocimiento de la investigación, paleosismológica y arqueosismológica en España ya concluida la primera década del Siglo XXI.

El terremoto de Lorca ha representado la oportunidad de aplicar y chequear nuevas técnicas en el análisis geológico y arqueosismológico de los terremotos, como son la Escala Macrosísmica ESI-07 y su clasificación de *Earthquake Environmental Effects* —EEEs— (Michetti *et al.*, 2007) y la clasificación de *Earthquake Archeoseismological Effects* —EAEs— (Rodríguez-Pascua *et al.*,

2011). El análisis estructural aplicado a las orientaciones de daños se había aplicado a terremotos antiguos como el de Baelo Claudia (Silva *et al.*, 2009; Giner-Robles *et al.*, 2009; 2011) o el del Tolmo de Minateda (Rodríguez-Pascua *et al.*, Este volumen). En estos casos las fuentes sísmicas no eran reconocidas y tales terremotos no se encuentran catalogados. El Terremoto de Lorca de 2011 (5.2 Mw) ofreció la oportunidad de comparar este tipo de datos con los registros instrumentales del mismo (Giner-Robles *et al.*, 2012). Pero los terremotos de la Emilia Romagna en 2012 (5.9 y 5.1 Mw), permitieron refinar y chequear esta técnica con datos sobre orientaciones de daños en una docena de localidades distribuidas alrededor de los respectivos epicentros ofreciendo estimaciones congruentes con los parámetros de tamaño y localización de los sismos (Giner-Robles *et al.*, este volumen). Otra de las contribuciones aplica esta misma técnica a la Crisis Sísmica Catalana del Siglo XV (1427-1428 AD) basándose en las orientaciones de daños conservados en las numerosas edificaciones religiosas de estilo románico afectadas por los terremotos (Rodríguez-Pascua *et al.*, este volumen). Estos mismos autores han publicado varios artículos divulgativos en colaboración con la Dirección General de Patrimonio Histórico, poniendo en alza el análisis de EAEs y su aplicación a la conservación y protección del patrimonio histórico en relación con el terremoto de Lorca de 2011 (e.g. Rodríguez-Pascua *et al.*, 2012; 2013).

En relación a los efectos geológicos de los terremotos el presente volumen ofrece el análisis detallado de EEEs y EAEs relacionados con el terremoto de Carmona de 1504 AD (Silva *et al.*, este volumen). El trabajo supone la aplicación detallada de la Escala Macrosísmica ESI-07 (Michetti *et al.*, 2007) a un terremoto histórico bastante documentado y catalogado proponiendo posibles fuentes sísmicas congruentes con los datos geológicos y geomorfológicos de la zona. Este trabajo analiza efectos secundarios cosísmicos tales como, procesos de licuefacción, oleaje anómalo en cursos fluviales, anomalías hidrológicas y fundamentalmente deslizamientos, como el que afecto

al antiguo Alcázar de Carmona. Este número especial también recoge el análisis de los importantes deslizamientos ocasionados por los terremotos de Lisboa (1755 AD) y Arenas del Rey (1884 AD) en la localidad granadina de Güevejar (Rodríguez Peces *et al.*, este volumen). Estos autores realizan un análisis retrospectivo de los movimientos en masa con objeto de determinar la distancia máxima a la que puede encontrarse un epicentro de determinada magnitud/intensidad para poder generar o reactivar una inestabilidad de ladera en función de las aceleraciones pico estimadas mediante el método de Newmark. Similares análisis se han aplicado a inestabilidades sismo-inducidas durante los recientes terremotos de La Paca (2005, 5.0 Mw) y Lorca (2011, 5.2 Mw) en la Región de Murcia (Alfaro *et al.*, 2012a; Rodríguez-Peces *et al.*, 2013; Delgado *et al.*, 2013). Este último autor (Delgado *et al.*, este volumen) presenta en este número especial una extensa síntesis sobre inestabilidades de ladera sismo-inducidas en España y Portugal, abordando su catalogación y análisis en función de relaciones empíricas sobre Intensidad-Distancia y Magnitud-Distancia aplicables a la Península Ibérica y territorios insulares. Este tipo de contribuciones ha promovido el desarrollo del Catálogo de Efectos Geológicos y Arqueológicos de los Terremotos en España, cuya versión preliminar fue presentada en el VIII Congreso Geológico de España, Celebrado en Las Palmas de Gran Canaria (Silva *et al.*, 2008). Está previsto que para mediados de 2014 la versión definitiva del mencionado catálogo sea publicada por el Instituto Geológico y Minero de España en colaboración con el QTEC-AEQUA.

En lo que se refiere al estudio de fallas activas, los estudios de trincheras de falla en España se han centrado fundamentalmente en la Cordillera Bética y las Cadenas Costero-Catalanas, buenas recopilaciones de tales estudios se pueden consultar en Masana y Santanach (2001), Insua y Martín-González (2010) y Martínez-Díaz *et al.* (2012a). Estos volúmenes recogen una buena cantidad de análisis de trincheras de falla y análisis de la geología y geomorfología del Cuaternario en

relación con terremotos históricos e instrumentales en nuestro territorio. La mayoría de este tipo de estudios se han desarrollado en las Cordilleras Béticas en relación con la Falla de Lorca-Alhama de Murcia y Carboneras (e.g. Martínez Díaz *et al.*, 2003; Masana *et al.*, 2004; Ortuño *et al.*, 2012). El presente número especial recoge dos contribuciones al respecto. La primera centrada en el análisis de la Falla de Ventas de Zafarraya, responsable del terremoto de Arenas del Rey (Granada) de 1884 AD (Grützner *et al.*, este volumen). Estos autores combinan la realización de trincheras de falla, análisis radiométricos y prospección geofísica (GPR) para caracterizar la historia sísmica de la mencionada falla durante el Holoceno. Concluyen que la falla registra al menos cuatro terremotos de magnitud 6.5 ± 0.5 durante este periodo de tiempo incluyendo el evento de 1884 AD y que su periodo de retorno se encuentra entorno a los 2.000 años. Azañón *et al.* (este volumen) abordan el análisis de las fallas normales en el entorno de la ciudad de Granada, y específicamente identifican la Falla de Granada mediante una combinación de análisis de marcadores geomorfológicos Plio-Cuaternarios y de afloramientos del Pleistoceno Superior en los que se observan paleosuelos desplazados de 5 a 7 cm por evento. Concluyen que la mencionada falla es capaz de generar eventos de magnitud entorno a 5.9-6.0 Mw, mejorando las estimaciones sobre peligrosidad sísmica en el entorno urbano de Granada.

Por último un par de contribuciones se centran en la problemática de la identificación del origen sísmico o asimico de fallas desarrolladas en zonas de alta montaña o sujetas a importantes procesos de karstificación. Gutiérrez *et al.* (este volumen) se centran en el graben del Río Grio, en la Cordillera Ibérica, que se encuentra limitado por fallas potencialmente activas, capaces de generar terremotos de magnitud ≥ 6.5 Mw y las cuales no se encuentran reflejadas en las cartografías geológicas existentes. Estos autores ponen de manifiesto que existen muchas zonas en nuestro territorio en las que el riesgo sísmico está sub-estimado ya que la identificación

de fallas potencialmente activas requiere de análisis específicos que involucran la Geología y Geomorfología del Cuaternario, aspectos poco tratados o secundarios en muchas de las cartografías geológicas anteriores a 1990, que aquí recordamos cubren aproximadamente el 75 % de nuestro territorio. Ortuño (este volumen), propone una serie de criterios para diferenciar el origen sísmico o no sísmico de determinadas deformaciones usando como ejemplo fallas cuaternarias en el Macizo de La Madaleta, en los Pirineos Centrales. Las fallas investigadas son las supuestas fuentes sísmicas de terremotos pre-instrumentales ocurridos en 1373 AD y 1923 AD en la zona pirenaica. La autora propone novedosas y sugerentes hipótesis sobre el origen isostático y colapso gravitatorio asociado con tales estructuras activas, no necesariamente sólo tectónicas. En la zona pirenaica también cabe destacar el trabajo de Gutiérrez-Santolalla *et al.* (2005) que analiza una serie de “sackungen” en el entorno de Benasque (Huesca) proponiendo su naturaleza mixta gravitatoria y cosísmica en relación con diferentes eventos históricos ocurridos en la zona (Ortuño *et al.*, 2004).

Creemos que el presente número especial compila trabajos representativos sobre la investigación de los efectos geológicos y arqueológicos de los terremotos en nuestro territorio. No obstante algunos temas importantes se nos han quedado en el tintero, bien por falta de tiempo o ánimo por parte de algunos autores. Echamos en falta algún trabajo centrado exclusivamente en procesos de licuefacción cosísmicos. Bien es sabido que los terremotos de Torre Vieja (1829 AD) y Oriheula (1048 AD) dieron lugar a importantes procesos de licuefacción en la Vega baja del Segura (Alicante). No obstante los curiosos en el tema pueden consultar los trabajos de Alfaro *et al.* (2001, 2012b) al respecto. Estos autores describen y analizan niveles de paleolicuefacción en la Vega Baja del Segura relacionados con el Terremoto de Torre Vieja y niveles de sismitas holocenas previas que apuntan a periodos de recurrencia de 1000 años aproximadamente. Lafuente *et al.* (2008), realizan

un interesante análisis de niveles de licuefacción pleistocenos en el entorno de la Falla de Concud (Teruel), poniendo de manifiesto la actividad reciente de la misma. Otro tema importante, que no hemos podido recoger, es el de los tsunamis, y muy en concreto los relacionados con el terremoto de Lisboa de 1755 AD. Una interesante descripción se puede encontrar en Martínez Solares (2001), e interesantes datos sobre su registro geológico y geomorfológico en Luque *et al.* (2001), Gracia *et al.* (2006) y Rodríguez-Vidal *et al.* (2011a). Lario *et al.* (2011), los cuales presentan un catalogo de tsunamis registrados geológicamente en las costas atlánticas del suroeste de la península durante el Holoceno. Luque *et al.* (2002) y Rodríguez-Vidal *et al.* (2011b) realizan un minucioso análisis del registro geológico y geomorfológico de un evento similar al de Lisboa ocurrido en época romana (c. 200 BC) en las Marismas de Doñana (Huelva). En esta misma línea son relevantes aportaciones las de Maestro *et al.* (2011), Gracia *et al.* (2012) y Perea *et al.* (2012) sobre el análisis paleosismológico off-shore utilizando sísmica de reflexión. Por último, y en relación con lo que se nos ha quedado en el tintero, estarían las contribuciones relacionadas con el análisis paleosismológico de yacimientos paleolíticos en secuencias fluviales, sistemas kársticos y análisis espeloesismológicos. Giner-Robles *et al.* (1996) ofrecen una visión de esta temática en la Cuenca de Madrid. Silva *et al.* (1997a, 2013) ofrecen una descripción de las sismitas registradas en los yacimientos achelenses de Transfesa y Arriaga, en las terrazas fluviales del valle inferior del Manzanares, al Sur de la ciudad de Madrid. Los trabajos de Jordá y Cacho (2007) y Sánchez Gómez *et al.* (2011) ofrecen interesantes datos sobre el registro paleosismológico en ocupaciones achelenses de abrigos kársticos localizados en la zona externa de la Cordillera Bética durante el Paleolítico Superior y Neolítico. En esta misma zona Pérez-López *et al.* (2009) realizan uno de los pocos trabajos sobre espeleoesismología en relación con el análisis de los efectos cosísmicos producidos por el terremoto de Mula de 1999 AD (4.8 mb) en la cueva de Benis (Murcia).

No querríamos terminar esa introducción sin abordar dos aspectos fundamentales. El primero agradecer a todos los autores y revisores de este número especial su predisposición y presteza en la edición de esta publicación. El segundo, rememorar las palabras del ilustre sismólogo D. Vicente Inglada, antiguo director del Servicio Sísmico del IGN durante la primera mitad del Siglo XX. Don Vicente pronunció el siguiente discurso en el año 1920, del cual transcribimos algunos párrafos finales:

*“El Sismólogo requiere en cada momento el concurso del geólogo para que éste le dé datos cada vez más precisos de los accidentes tectónicos de la región sísmica y del espesor y naturaleza de los depósitos superficiales, del mismo modo que el físico estudiando sus problemas plantea las ecuaciones y pide incesantemente al matemático que las resuelva, y el cálculo integral —fuerza es confesarlo— no siempre da la solución pedida. Acaso la Sismología, de un modo análogo, haga progresar los estudios tectónicos. En nuestra patria por lo menos, donde hay tanto que hacer en este campo, sería muy beneficiosa la estrecha colaboración de geólogos y sismólogos en esta importante clase de investigaciones, por lo cual nosotros hemos proclamado su necesidad e importancia en varias ocasiones. Acaso nuestra voz no se pierda en el vacío. De los amantes de la Geología queremos esperar una incesante actividad en favor de estos interesantes problemas sismotectónicos, pues opinamos que el suelo español debe ser explorado por geólogos españoles, algunos tan eminentes que, al dedicar su esfuerzo a esta clase de trabajos, cosecharían resultados científicos transcendentales y de una novedad extraordinaria, ya que nuestro país para algunas cuestiones es aún, por desgracia, una verdadera **terra incognita**”.*

El discurso de Don Vicente cayó en el vacío y quedó postrado acumulando polvo en los estantes de las bibliotecas durante largos años. Su añorada “Sismología-Geológica” no halló la luz hasta la última parte del Siglo XX, cuando con otro nombre “Paleosismología” empezó a infiltrarse en las Ciencias Geológicas. Justo es reconocer que los primeros en investigar la tectónica cuaternaria en nuestro país fueron investigadores franceses (e.g. Bousquet, 1979). Los nuestros, andaban enconados con la Orogenia Hercínica y los menos con la

Alpina. Es muy difícil ver fallas atravesando las extensas manchas grises cuaternarias en los MAGNAS anteriores a 1985 e incluso 1990. Los primeros en exponer temas de “Tectónica Cuaternaria” o “Neotectónica” fueron un puñado de investigadores enraizados en el naciente Grupo Español para el Estudio del Cuaternario (1972) que posteriormente fructificó en AEQUA (1986). Los primeros trabajos de carácter expresamente paleosismológico en España son los de Masana (1996) en la Falla del Camp (Tarragona), Alfaro *et al.* (1997) en la cuenca del Bajo Segura (Alicante) y Silva *et al.* (1997b) en la Depresión del Guadalentín (Murcia), aunque la arqueosismología tuvo que esperar casi diez años más hasta que las investigaciones en el Conjunto Arqueológico Romano de *Baelo Claudia* (Cádiz) sacaron a la luz dos terremotos antiguos y todavía controvertidos (Silva *et al.*, 2005). Así, de puntillas, llegamos al año 2010 desde el que QTECT-AEQUA intenta focalizar y promover este tipo de estudios bajo un adecuado nivel de conocimientos en Geología del Cuaternario y Geomorfología. Ese mismo año durante el Congreso de IBERFAULT se presenta la primera base de datos de fallas activas de la Península Ibérica (García-Mayordomo *et al.*, 2012), cuya información ha constituido una de las bases para la reciente revisión de la peligrosidad sísmica de la Península Ibérica (IGN, 2013), tras la derogación de la Norma de Construcción Sismoresistente (NCSE-02) vigente hasta el Terremoto de Lorca de 2011. El presente número especial ofrece una amplia cobertura, que no completa, de las contribuciones de nuestra comunidad cuaternarista al análisis geológico y arqueológico de los terremotos en nuestro país.

La lista de referencias bibliográficas que acompaña a esta introducción pretende dar una visión general del “estado del arte” en el estudio geológico y arqueológico de los terremotos y tectónica activa en nuestro territorio.

Referencias bibliográficas

Alfaro, P.; Moretti, M.; Soria, J.M. (1997). Soft-sediment deformation structures induced by

- earthquakes (seismites) in Pliocene lacustrine deposits (Guadix-Baza basin, Central Betic Cordillera). *Eclogae Geol. Helv.*, 90. 531–540.
- Alfaro, P.; Delgado, J.; Estévez, A.; López-Casado, C. (2001). Paleoliquefaction in the Bajo Segura Basin (eastern Betic Cordillera). *Acta Geológica Hispánica*, 36 (3-4), 233-244
- Alfaro, P.; Delgado, J.; García-Tortosa, F.J.; Lenti, L.; López, A.; López-Casado, C.; Martino, S. (2012a). Widespread landslides 364 induced by the Mw 5.1 Lorca, SE Spain, earthquake of 11 May 2011. *Engineering Geology*, 137-138: 40-52.
- Alfaro, P.; Bartolomé, R.; Borque, J.M.; Estévez, A.; García-Mayordomo, J.; García-Tortosa, F.J.; Gil, A.J.; Gràcia, E.; Lo Iacono, C.; Perea, H. (2012b). *The Bajo Segura Fault Zone: Active blind thrusting in the Eastern Betic Cordillera (SE Spain)*. *Journal of Iberian Geology*, 38 (1). 271-284.
- Bousquet, J.C. (1979). Quaternary strike-slip faults in south-eastern Spain: Tectonophysics, 52. 277–286.
- Delgado, J.; Peláez, J.A.; Tomas, R.; García-Tortosa, F.J.; Alfaro, P.; López-Casado, C. (2011). Seismically-induced landslides in the Betic Cordillera (S Spain). *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31: 1203-1211.
- Delgado, J.; Alfaro, P.; García-Tortosa, F.J.; Giner, J.; Lenti, L.; López-Casado, C.; Martino, S.; Scarascia-Mugnozza, G. (2013). Análisis de la interacción entre el campo de ondas y la geometría de una ladera inestable durante el terremoto de 2011 en Lorca (Mw 5.1): Implicaciones prácticas. VIII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Palma de Mallorca, III: 1242-1253.
- García-Mayordomo, J.; Insua-Arévalo, J.M.; Martínez-Díaz, J.J., *et al.* (2012). The Quaternary Active Faults Database of Iberia (QAFI v. 2.0). *Journal of Iberian Geology*, 38 (1), 285-302.
- Giner-Robles, J.L.; De Vicente, G.; Pérez González, A.; Sánchez Cabañero, J.; Pinilla, L. (1996). Crisis tectónicas cuaternarias en la Cuenca de Madrid. *Geogaceta*, 20 (4). 842-845.
- Giner-Robles, J.L.; Rodríguez-Pascua, M.A.; Pérez-López, R.; Silva, P.G.; Bardají, T.; Grützner C. y Reicherter, K. (2009). *Structural analysis of Earthquake Archaeological Effects (EAE) Baelo Claudia Examples (Cádiz, South Spain)*, IGME, Madrid, 137 pp.
- Giner-Robles, J.L.; Silva, P.G.; Pérez-López, R.; Rodríguez-Pascua, M.A.; Bardají, T.; Garduño-Monroy, V.H. y Lario, J. (2011). *Evaluación del daño sísmico en edificios históricos y yacimientos arqueológicos. Aplicación al estudio del riesgo sísmico. Proyecto EDASI. Serie Investigación. Fundación MAPFRE*, 96 pp.
- Giner-Robles, J.L.; Pérez-López, R.; Rodríguez-Pascua, M.A.; Silva, P.G.; Martín-González, F., Cabañas, L. (2012). Oriented Structural analysis of seismically oriented damage caused by the Lorca earthquake of 11th May 2011: Application to archaeoseismology. *Boletín Geológico y Minero*, 123, 4, 503-513
- Gracia, F. J.; Alonso, C.; Benavente, J.; Anfuso, G.; Del Río, L. (2006). The different coastal records of the 1755 tsunami waves along the South Atlantic Spanish coast. *Zeitschrift für Geomorphologie Suppl.* 146, 195–220.
- Gràcia, E.; Bartolome, R.; Lo Iacono, C.; Moreno, X.; Stich, D.; Martínez-Díaz, J. J.; Bozzano, G.; Martínez-Loriente, S.; Perea, H.; Diez, S., Masana, E.; Dañobeitia, J. J.; Tello, O.; Sanz, J. L.; Carreño, E.; EVENT-SHELF Team (2012). Acoustic and seismic imaging of the Adra Fault (NE Alboran Sea): in search of the source of the 1910 Adra earthquake. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 3255-3267.
- Gutiérrez-Santolalla, F.; Acosta E.T; Santiago Ríos, S.; Guerrero, J.; Lucha, P. (2005). Geomorphology and geochronology of sacking features (uphill-facing scarps) in the Central Spanish Pyrenees. *Geomorphology*, 69. 298-314.
- Grützner, C.; Pérez-López, R.; Fernández-Steeger T.; Papanikolaou, I.; Reicherter, K.; Silva, P.G.; Vött, A. eds. (2011). *Earthquake Geology and Archaeology: Science, Society and Critical facilities*. Proceedings INQUA-IGCP567 Vol., 2. 2nd International Workshop, Kapodistrian University of Athens. Corinth, Greece. 289 pp.
- Grützner, C.; Rudersdorf, A.; Pérez-López, R.; Reicherter, K. eds. (2013). *Seismic Hazard, Critical Facilities and Slow Active Faults*. Proceedings INQUA-IGCP567, Vol., 4. 4th International Workshop, RWTH University, Aachen, Germany. 307 pp.
- IGN (2013). *Actualización de Mapas de Peligrosidad Sísmica de España 2012*. CNIG (IGN), Madrid, España. 267 pp.
- Insua-Arévalo, J.M.; Martín-González, F. eds. (2010). *Contribución de la Geología al Análisis de la Peligrosidad Sísmica*. IBERFAULT, Sigüenza, Guadalajara (España). 214 pp.
- Jordá, J.F.; Cacho, C. (2007). Procesos sedimentarios y actividad tectónica en el registro del Pleistoceno Superior del Tossal de La Roca (Vall d'Alcalà, Alicante, España). En: *Contribuciones*

- al Estudio del Periodo Cuaternario (Lario, J., Silva, P.G., eds.). UNED-AEQUA, Madrid. 153-156.
- Lafuente, P.; Rodríguez-Pascua, M.A.; Simón, J.L.; Arlegui, L.E.; Liesa, C.L. (2008): Sismitas en depósitos pliocenos y pleistocenos de la fosa de Teruel. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 21 (3-4): 133-149.
- Lario, J.; Zazo, C.; Goy, J.L. Silva, P.G.; Bardají, T.; Cabero, A.; Dabrio, C.J. (2011). Holocene palaeotsunami catalogue of SW Iberia. *Quaternary International*, 242 (1). 196 - 200.
- Luque, L.; Lario, J.; Zazo, C.; Goy, J. L.; Dabrio, C. J.; Silva, P. G. (2001). Tsunami deposits as palaeoseismic indicators: examples from the Spanish coast. *Acta Geológica Hispánica*, 36 (3-4), 197-211.
- Luque, L.; Lario, J.; Civis, J.; Silva, P. G.; Zazo, C.; Goy, J. L.; Dabrio, C.J. (2002). Sedimentary record of a tsunami during Roman times, Bay of Cádiz, Spain. *Journal of Quaternary Science*, 17 (5-6), pp. 623-631.
- Maestro, A.; Jané, G.; García-Mayordomo, J.; Fernández-Revuelta, B.; Rodríguez-Pascua, M.A.; Martínez-Díaz, J.J.; Pérez-López, R. (2011). Cause of the rupture and distribution of broken submarine carbonate chimneys in the Gulf of Cádiz (southwestern Spain). *Quaternary International*, 242 (1). 240-253.
- Martínez-Díaz, J.J.; Masana, E.; Rodríguez-Pascua M.A. eds. (2012) Special Issue on Active Faults in Iberia. *Journal of Iberian Geology*, 38. 225 pp.
- Martínez-Díaz, J.J.; Masana, E.; Hernández-Enrile, J.L.; Santanach, P. (2003). Effects of repeated paleoearthquakes on the Alhama de Murcia fault (Betic Cordillera, Spain) on the Quaternary evolution of an alluvial fan system. *Annals of Geophysics*, 46 (5). 775–792.
- Martínez Solares, J.M. (2001). Los efectos en España del Terremoto de Lisboa (1 de noviembre de 1755). *Monografías IGN*, 19. IGN, Madrid (Spain), 253 pp.
- Masana, E. (1996). Evidence for past earthquakes in an area of low historical seismicity: the Catalan Coastal Ranges, NE Spain. *Annali di Geofisica*, 39. 689 – 704.
- Masana, E.; Santanach, P., eds. (2001). Secc. Vol. on Paleoseismology in Spain. *Acta Geológica Hispánica*, 36 (3-4). 354 pp.
- Masana, E.; Martínez-Díaz, J.J.; Hernández-Enrile, J.L.; Santanach, P. (2004). The Alhama de Murcia fault (SE Spain), a seismogenic fault in a diffuse plate boundary: Seismotectonic implications for the Ibero-Magrebien region. *Journal of Geophysical Research*, 109. 1–17.
- Michetti, A. M. et al. (2007). Environmental Seismic Intensity Scale 2007 - ESI 2007. In: Vittori, E. and Guerrieri, L. (eds) *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, 74. Servizio Geologico d'Italia, Dipartimento Difesa del Suolo, APAT, SystemCart Srl, Roma, Italy, 7-54.
- Ortuño, M.; Perea, H.; Masana, E.; Santanach, P. (2004). La falla Norte de la Maladeta, fuente sísmica del terremoto de Biela (11de Noviembre de 1923)? *Geotemas*, 6 (3), 171-174.
- Ortuño, M.; Masana, E.; García-Meléndez, E.; Martínez-Díaz, J.J.; Canora, C.; Štepančíková, P.; Cunha, P.P.; Sohbatí, R.; Buylaert, J.P.; Murray, A.S. (2012). An exceptionally long paleoseismic record of a slow-moving fault: The Alhama de Murcia fault (Eastern Betic shear zone, Spain). *Geological Society of America Bulletin*, 124 (9/10). 1474-1494.
- Perea, H.; Gràcia, E.; Alfaro, P.; Bartolomé, R.; Lo Iacono, C.; Moreno, X.; Masana, E.; EVENT-SHELF Team (2012). Quaternary active tectonic structures in the offshore Bajo Segura basin (SE Iberian Peninsula-Mediterranean Sea) *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 3151-3168.
- Pérez-López, R.; Grütznér, C.; Lario, J.; Reicherter, K.; Silva, P.G. eds. (2009a). Archaeoseismology and Palaeoseismology in the Alpine-Himalayan collisional Zone. Proceedings INQUA-IGCP567 Vol., 1. 1st International Workshop, UNED-AEQUA. Baelo Claudia (Cádiz), Spain. 269 pp.
- Pérez-López R.; Rodríguez-Pascua, M. A.; Giner-Robles, J. L.; Martínez-Díaz, J. J.; Marcos-Nuez, A.; Silva, P.G.; Bejar, M.; Calvo, J.P. (2009b). Speleoseismology and palaeoseismicity of Benis Cave (Murcia, SE Spain): coseismic effects of the 1999 Mula earthquake (mb 4.8). *Geological Society, London, Special Publications*, 316, 207-216.
- Reicherter, K.; Michetti A.M.; Silva, P.G. (2009). Palaeoseismology: historical and prehistorical records of earthquake ground effects for seismic hazard assessment. Geological Society, London Spec. Publ., 316, London Publishing House, UK. 360 pp.
- Pérez-López, R.; Silva, P.G.; Rodríguez Pascua, M.A.; Garduno Monroy, V.H.; Suarez, G.; Reicherter, K. eds. (2012). Earthquake Geology and Archaeology: Science, Society and Seismic Hazard. Proceedings INQUA-IGCP567, Vol., 3. 3rd International Workshop, Universidad Michoacana de San Nicolas Hidalgo, Morelia, Mexico 210 pp.

- Rodríguez-Pascua, M.A.; Pérez-López, R.; Cirujano, M.C. (2012). Vol. Espec. El Terremoto de Lorca del 11 de Mayo de 2011. *Boletín Geológico y Minero*, 123 (4). 522 pp.
- Rodríguez-Pascua, M.A.; Pérez-López, R.; Martín-González, F.; Giner-Robles, J.L.; Silva, P.G. (2012). Efectos arquitectónicos del terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011. Neoformación y reactivación de efectos en el Patrimonio Cultural. *Boletín Geológico y Minero*, 123, 4, 487-502.
- Rodríguez-Pascua, M.A.; Pérez-López, R.; Martín-González, F.; Giner-Robles, J.L.; Silva, P.G. (2013). Arqueosismología: una nueva fuente de datos sísmicos y una herramienta para la protección del patrimonio. *La Ciencia y El Arte*, 4. 53-69.
- Rodríguez-Pascua, M.A.; Pérez-López, R.; Silva, P.G.; Giner-Robles, J.L.; Garduño-Monroy, V.H.; Reicherter, K. (2011). A Comprehensive Classification of Earthquake Archaeological Effects (EAE) for Archaeoseismology. *Quaternary International*, 242, 20-30.
- Rodríguez-Peces, M.J.; García-Mayordomo, J.; Martínez-Díaz, J.J. (2013). Slope instabilities triggered by the 11th May 2011 Lorca earthquake (Murcia, Spain): comparison to previous hazard assessments and proposition of a new hazard map and probability of failure equation. *Bulletin of Earthquake Engineering*, on-line first. Doi: 10.1007/s10518-013-9509-5.
- Rodríguez-Vidal, J., Ruiz, F.; Cáceres, L.M.; Abad, M.; González-Regalado, M.L.; Finlayson, C.; Finlayson, G.; Fa, D.; Rodríguez-Llanes, J.M.; Bailey, G. (2011a). The recorded evidence of AD 1755 Atlantic tsunami on the Gibraltar coast. *Journal of Iberian Geology*, 37 (2). 177-19.
- Rodríguez-Vidal, J.; Ruiz, F.; Cáceres, L.M.; Abad, M.; González-Regalado, M.L.; Pozo, M.; Carretero, M.I.; Monge-Soares, A.M.; Gómez-Toscano, F. (2011b). Geomarkers of the 218–209 BC Atlantic tsunami in the Roman Lacus Ligustinus (SW Spain): A palaeogeographical approach. *Quaternary International*, 242 (1). 201-212.
- Sánchez-Gómez, M.; Martínez-Sánchez, C.; García-García, F.; Peláez, J.A.; Pérez-Valera, F.; Martínez-Andreu, M.; Pérez-Valera, L.A. (2011). Evidence for a 4700-2100 BC palaeoearthquake recorded in a fluvial-archaeological sequence of the Segura River, SE Spain. *Quaternary International*, 242 (1). 106-114.
- Silva, P.G.; Cañaveras, J.C.; Sánchez-Moral, S.; Lario, J.; Sanz, E. (1997a). 3D soft-sediment deformation structures: evidence for Quaternary seismicity in the Madrid basin, Spain. *Terra Nova*, 9 (5-6), 208-212.
- Silva, P.G.; Goy, J.L.; Zazo, C.; Lario, J.; Bardají, T. (1997b) Palaeoseismic indications along “aseismic” fault segments in the Guadalentín Depression (SE Spain). *Journal of Geodynamics*, 24. 105-115.
- Silva, P.G.; Zazo, C.; Goy, J.L.; Bardají, T.; De Luque, L.; Lario, J.; Borja, F.; Dario, C.J. (2005). Archaeoseismic record at the ancient Roman City of Baelo Claudia (Cádiz, south Spain). *Tectonophysics*, 408 (1-4). 129-148.
- Silva, P.G.; Rodríguez-Pascua, M.A.; Pérez-López, R.; Bardají, T.; Lario, J.; Alfaro, P.; Martínez-Díaz, J.J.; Reicherter, K.; Giménez, J.; Giner, J.L.; Azañón, J.M.; Goy, J.L.; Zazo, C. (2008). Catalogación de los efectos geológicos y ambientales de los terremotos en España en la Escala ESI-2007 y su aplicación a los estudios paleosismológicos. *Geotemas*, 10, 318.
- Silva, P.G.; Reicherter, K.; Grützner, C.; Bardají, T.; Lario, J.; Goy, J.L.; Zazo, C.; Becker-Heidmann, P. (2009). Surface and subsurface palaeoseismic records at the ancient Roman city of Baelo Claudia and the Bolonia Bay area, Cádiz (south Spain). *Geological Society of London, Spc. Pub.*, 316, 93-121.
- Silva, P.G.; Sintubin, M.; Reicherter, K. eds. (2011). Spec. Vol. on Earthquake Archaeology and Paleoseismology. *Quaternary International*, 242 (1). 258 pp.
- Silva, P.G.; López Recio, M.; Cuartero, F.; Tapias, F.; Roquero, E.; Morín, J.; Rus, I.; Carrasco-García, P.; Rodríguez-Pascua, M.A.; Pérez-López, R.; Giner-Robles, J.L. (2013). Stratigraphy of the Arriaga Palaeolithic sites. Implications for the geomorphological evolution recorded by thickened fluvial sequences within the Manzanares River valley (Madrid Neogene Basin, Central Spain). *Geomorphology*, 196. 138-161.