



## SISTEMA DE PLIEGUES ACTIVOS EN EL MARGEN CONTINENTAL SEPTENTRIONAL DEL MAR DE ALBORÁN (MEDITERRANEO OCCIDENTAL)

### *Active fold system in the northern continental margin of the Alboran Sea (Western Mediterranean)*

J.T. Vázquez<sup>1</sup>, J. Galindo-Zaldívar<sup>2,3</sup>, D. Palomino<sup>1</sup>, L. González<sup>2</sup>, M.C Fernández-Puga<sup>4</sup>, S. Naranjo<sup>1</sup>, M.T. Pedrosa<sup>2</sup>, V. Tendero<sup>3</sup>, P. Bárcenas<sup>1</sup>, F. Estrada<sup>5</sup>, G. Ercilla<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Instituto Español de Oceanografía, CSIC, Centro Oceanográfico de Málaga, Puerto Pesquero s/n, 29640 Fuengirola (Málaga), Spain. juantomas.vazquez@ieo.csic.es, desiree.palomino@ieo.csic.es, patri.barcenas@gmail.com

<sup>2</sup> Dpto. de Geodinámica, Universidad de Granada, 18071 Granada, Spain. jgalindo@ugr.es, lgcastillo@ugr.es, mpedrosa@correo.ugr.es

<sup>3</sup> Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, CSIC-UGR, 18100 Granada, Spain. vtendero@ugr.es,

<sup>4</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Univ. Cádiz. 11510 Puerto Real (Cádiz), Spain. mcarmen.fernandez@uca.es

<sup>5</sup> Instituto de Ciencias del Mar, CSIC, Continental Margins Group, 08003 Barcelona, Spain. festrada@icm.csic.es, gemma@icm.csic.es

**Resumen:** En el margen septentrional del Mar de Alborán, la deformación compresiva relacionada con la convergencia entre las placas de Eurasia y Nubia se resuelve mediante una intensa fracturación según dos grandes sistemas de fallas de dirección NNE-SSO con movimiento sinestro y NO-SE de desplazamiento dextral-normal. El análisis estructural de los elementos geomorfológicos presentes en el fondo marino permite establecer, además, una serie de elementos morfológicos generados por la actividad de pliegues anticlinales y sinclinales que conforman una serie de elevaciones de dirección N050-060°E. Estos pliegues deforman a las unidades sedimentarias superficiales y han sido activos al menos durante el Cuaternario, como lo demuestra el patrón de espesores de las unidades sísmicas afectadas por el plegamiento y la deformación de la superficie erosiva asociada a una terraza contornítica. Este patrón de estructuras se interpreta como generado por la deformación existente sobre una falla de cabalgamiento, vergente hacia el norte, que asume parte de la deformación compresiva causada por la indentación del bloque de la Dorsal de Alborán.

**Palabras clave:** geomorfología, deformación, pliegues, fallas, margen continental.

**Abstract:** In the northern margin of the Alboran Sea, the compressive deformation related to the convergence between the Nubian and Eurasian plates is resolved by an intense fracturing along two large fault systems trending NNE-SSW with left-lateral movements and NW-SE with right-lateral normal components. The structural analysis of the geomorphological elements on the seafloor also allows us to establish a series of morphological elements generated by the activity of some anticline and syncline fold sets. It is basically a series of ridges heading N050-060°E. These folds deform the shallow sedimentary units and have been active at least during the Quaternary, as evidenced by the thickness pattern of seismic units affected by the folding and the deformation of an erosive surface associated with a contouritic terrace. This pattern of structures is interpreted to be generated by the overlying deformation on a thrust fault, verging towards the north, which assumes part of the compressive deformation caused by the indentation of the Alborán Ridge block.

**Key words:** geomorphology, seafloor deformation, folds, faults, continental margin.

### Introducción

La región del Mar de Alborán y las zonas de las Béticas y Rif, al norte y al sur respectivamente, se caracterizan por un alto número de terremotos, normalmente de magnitud moderada, pero que han tenido su máxima expresión con la generación de tres sismos de magnitud superior a 6 Mw (6,2 en el 2004; 6,2 en el 2010 y 6,4 en el 2016) en el sector meridional de esta región (Grevemeyer *et al.*, 2015; Buforn *et al.*, 2017). Este riesgo sísmico ocasiona que la actividad tectónica contemporánea sea un objetivo de gran interés en esta región durante las últimas décadas.

La adquisición de datos batimétricos y perfiles del subsuelo de alta resolución ha permitido estudiar las estructuras tectónicas que están afectando a la superficie del fondo marino, llegando a generar rasgos morfológicos lineales, muy marcados, asociados con zonas de fallas (Gràcia *et al.*, 2006; Ballesteros *et al.*, 2008; Estrada *et al.*, 2018; Perea *et al.*, 2018; d'Acremont *et al.*, 2020; Vázquez *et al.*, 2022). Así mismo, estos datos han permitido establecer una bu-

ena correlación entre las estructuras sismogénicas, en profundidad, con las estructuras tectónicas activas en la superficie del fondo marino (Galindo-Zaldívar *et al.*, 2018; Gràcia *et al.*, 2019),

La evolución de la deformación a lo largo del Plioceno-Cuaternario en esta región es consecuencia de los procesos de colisión continental existentes entre las placas de Eurasia y Nubia (África Occidental) según una dirección de convergencia NO-SE. La indentación de la Dorsal de Alborán hacia el norte, como parte de la litosfera africana, explica toda la deformación que se observa en el sector central del Mar de Alborán (Estrada *et al.*, 2018). El bloque indentador (Dorsal de Alborán, de dirección ENE-OSO) está limitado al oeste por la falla de Al Idrissi, desgarre sinestro de dirección NNE-SSO, y hacia el este por la falla de Yusuf, desgarre dextroso de dirección NO-SE. Estos dos sistemas de fallas se han propagado hacia el margen septentrional de la cuenca, generando familias de estructuras muy penetrativas, como son el sistema de fallas de Motril-Djibouti (Vázquez *et al.*, 2018) de dirección NNE-SSO con movimiento sinestro, y el

sistema de fallas y pliegues de Averroes (Moreno *et al.*, 2016; Perea *et al.*, 2018) o el sistema de la falla de Balanegra (Galindo-Zaldívar *et al.*, 2013), ambos de dirección NO-SE con movimiento dextro-normal. Además, en este contexto se han generado sistemas de pliegues de orientación ENE-OSO (Vázquez *et al.*, 2016; Estrada *et al.*, 2018).

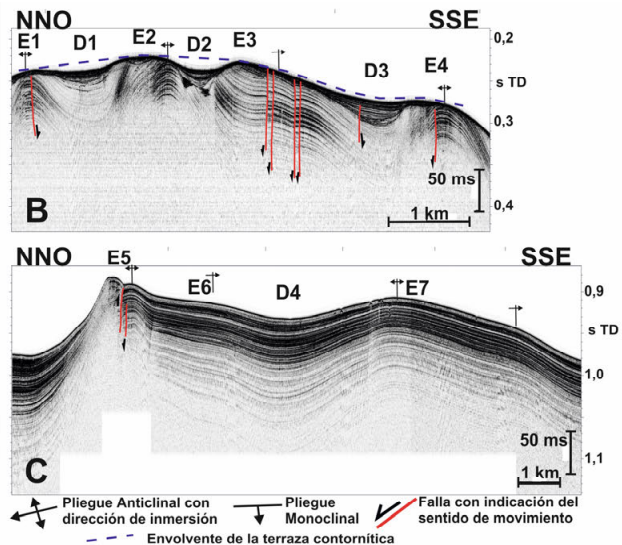
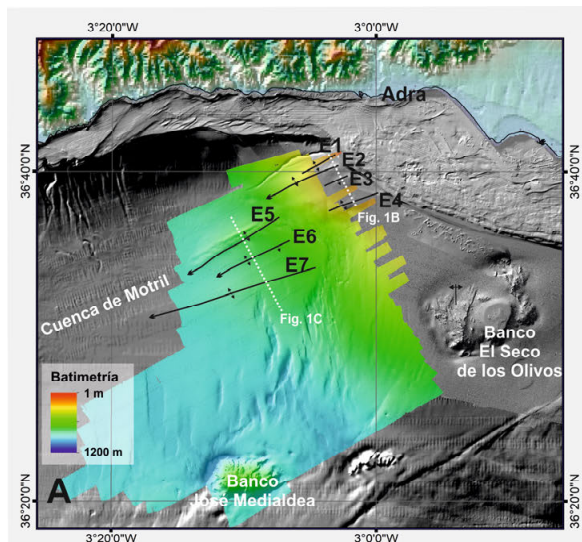
Las estructuras de plegamiento activas durante el Cuaternario son menos conocidas que los sistemas de fallas, si bien se han descrito tanto en el margen meridional de la cuenca en el banco de Xauén (d'Acremont *et al.*, 2020), sobre el frente del bloque indentador formando la antiforma de la Dorsal de Alborán (Estrada *et al.*, 2018), y sobre el margen septentrional del mar de Alborán (Vázquez *et al.*, 2016) donde han sido estudiados, preferentemente, en el Campo de Dalías en la zona emergida (Pedrera *et al.*, 2012).

El objetivo de este trabajo es aportar nuevo conocimiento sobre las estructuras de plegamiento localizadas en el margen septentrional del Mar de Alborán, su actividad contemporánea y su influencia sobre la superficie del fondo marino.

## Datos y metodología

En este estudio se ha utilizado la base de datos de batimetría y de perfiles sísmicos de alta resolución, recopilada a lo largo de las dos últimas décadas, por los grupos de investigación de Márgenes Continentales (ICM, CSIC) y de Geociencias Marinas (IEO, CSIC), completadas con la adquisición de nuevos datos geofísicos de alta resolución durante la campaña oceanográfica RIGEL2-AGORA\_0820. En esta campaña se obtuvieron datos de batimetría multihaz (EM710) y, una malla de perfiles sísmicos de alta resolución con ecosonda paramétrica (TOPAS PS18) en el sector nororiental del margen continental del Mar de Alborán (Fig. 1A).

Los datos batimétricos se han integrado en un SIG, se ha obtenido un modelo digital del terreno y se han aplicado diferentes herramientas para conocer las principales variables del terreno (pendiente, curvatura, rugosidad y orientación del terreno), que han permitido interpretar los rasgos morfológicos del fondo marino. En los perfiles sísmicos se han interpretado las estructuras tectónicas que afectan a las unidades sedimentarias superficiales y han permitido discutir el origen tectónico de los rasgos morfológicos interpretados.



**Fig. 1.-** A: Área de estudio en el margen continental de Adra, sector septentrional del Mar de Alborán. B y C: Perfiles sísmicos de muy alta resolución obtenidos con sonda paramétrica durante la campaña oceanográfica RIGEL2-AGORA\_0820.

**Fig. 1.-** A: Location of the study area in the continental margin of Adra, northern sector of the Alboran Sea. B and C: Very high resolution seismic profiles acquired with parametric echosounder during the oceanographic cruise RIGEL2-AGORA\_0820.

## Resultados

En el modelo de terreno del fondo marino se diferencian claramente al menos siete suaves elevaciones rectilíneas alargadas (E1 a E7; Fig. 1A y Tabla 1), de dirección N050-060°E, que están localizadas en el talud continental medio al oeste del Banco del Seco de los Olivos (o Banco de Chella). Cuatro de ellas, sector oriental (E1 a E4, de norte a sur; Figs. 1A y 1B), afectan una terraza contornítica labrada en el segmento superior del talud medio (Ercilla *et al.*, 2016; referencia). Las otras tres, sector occidental (E5 a E7, de norte a sur; Figs. 1A y 1C), se sitúan a mayor profundidad en el interior de la cuenca de Motril.

De modo general las pendientes de los flancos septentrionales son mayores (3-6°) que la de los flancos meridionales (2,5-4,5°) que se aproximan a la pendiente media del talud (1-2°). Además, entre las

elevaciones se desarrollan depresiones de orientación subparalela a estas: D1 entre E1 y E2, D2 entre E2 y E3, D3 entre E3 y E4, y D4 entre E5 y E7.

Elevación	Longitud (km)	Anchura (km)	R Max. (m) N/S	Prof. Cima (m) E-O
E1	5,5	0,7	35/2	150-300
E2	9	1,75	30/16	160-550
E3	3	0,5-1,2	8/33	160-350
E4	5	0,5-1,2	5/36	160-350
E5	13	1,5-2,5	60/30	550-830
E6	10	3	10/25	680-840
E7	16	4	25/25	680-850

**Tabla 1.-** Características morfométricas de las elevaciones estudiadas. R Max.: Relieves máximo de los flancos norte y sur; Prof. Cima: Variación de la profundidad de la cima de este a oeste.

**Table 1.-** Morphometric characteristics of the elevations studied. R Max.: Maximum relief of the north and south flanks; Depth Top: Variation of the depth of the top from east to west.

La morfología de la cima de E1, E2 y E4 se caracteriza por un relieve prácticamente plano, mientras que E3, E5 y E7 tienen geometría de cresta, si bien con diferente inclinación de sus flancos, por último en E6 se caracteriza normalmente por tener una forma de escalón en el flanco meridional de E5. Las depresiones D1 y D3 se caracterizan así mismo por tener superficies prácticamente planas, mientras D2 y D4 tienen forma de valle (Figs. 1B y 1C).

En los perfiles sísmicos de alta resolución se observa como las principales estructuras responsables de estas elevaciones y depresiones corresponden a un tren de pliegues anticlinales y sinclinales (Figs. 1B y 1C). Las elevaciones E1, E2, E4, E5 y E7 corresponden a pliegues anticlinales, mientras que las elevaciones E3 y E6 están constituidas por pliegues monoclinales. Asimismo, las depresiones D1, D3 y D4 corresponden a pliegues sinclinales mientras que D2 tendría una geometría de canal erosivo parcialmente rellenado.

La elevación alcanzada por las estructuras en el sector oriental (E1 a E4 y D1 a D3) les hace estar sujetas a la acción erosiva de las corrientes de fondo responsables de la formación de una terraza contornítica en el segmento superior del talud medio. La superficie de abrasión de esta terraza erosiona a los pliegues anticlinales, truncando a los reflectores, y está posteriormente deformada por el movimiento de elevación de las estructuras de plegamiento y por el desarrollo de fallas de alto ángulo de componente normal, de dirección NO-SE.

Las elevaciones E5 y E7 están formadas por pliegues anticlinales con flancos asimétricos, siendo el flanco septentrional el que tiene más inclinación. Esta asimetría es mayor en el pliegue anticlinal más septentrional (E5, Fig. 1C). La elevación E6 está formada por un pliegue anticlinal más abierto, que hacia el este pasa a una estructura monoclinale. El eje de la elevación E5 se caracteriza por estar fracturado por una zona de falla de dirección subparalela al eje del pliegue anticlinal constituida por varias fallas de componente inversa que producen una estructura *pop-up* que acentúa la asimetría de este pliegue y favorece la formación de pequeños deslizamientos en la superficie actual del fondo marino del flanco septentrional. Por último, E7 y en menor medida E6 y E5, están afectadas también por fallas normales de dirección N-S a NO-SE.

Los pliegues sinclinales asociados con las depresiones D1, D3 y D4 también son asimétricos; en este caso los flancos más tendidos son los septentrionales y los más inclinados los meridionales, apreciándose un aumento de espesor de las unidades sísmicas hacia la charnela del pliegue. Esta asimetría es coherente con la observada en los pliegues anticlinales.

La dirección de inmersión de los ejes de los pliegues está dirigida hacia el oeste, dirección en la que se va produciendo también una progresiva disminución de la inclinación de los flancos de los pliegues.

## Discusión

Las elevaciones y depresiones descritas en la morfología del talud medio del margen de Adra se interpretan como generadas por el desarrollo de un tren de pliegues anticlinales y sinclinales, de características asimétricas que indican una vergencia hacia el norte.

En el caso de la elevación E5 se observa la actividad de fallas inversas de alto ángulo que desplazan el propio pliegue anticlinal y llegan a afectar a la superficie del fondo marino. Estas fallas inversas que afectan al eje del anticlinal en superficie junto con la geometría asimétrica de los pliegues permiten proponer que este tren de pliegues está relacionado con un sistema de cabalgamiento imbricados ciegos desarrollados en contrapendiente que afectaría a parte de la cobertera sedimentaria de la cuenca y que sigue deformando a las unidades sedimentarias superficiales. El cabalgamiento frontal se sitúa en la posición del anticlinal que genera la elevación E5 que presenta la mayor actividad. Este cabalgamiento ha sido observado en perfiles sísmicos de gran penetración (Cabalgamiento del Margen de Adra; Vázquez *et al.*, 2016).

Las evidencias de actividad cuaternaria de estos pliegues son: i) la deformación de la superficie del fondo marino; ii) la deformación de la terraza contornítica por los pliegues asociados con las elevaciones E-1 a E4, esta terraza ha funcionado durante el Pleistoceno y Holoceno y está generada por la dinámica de las corrientes de fondo existente en la zona de interfase entre las masas de Agua Atlántica Superficial y Levantina Intermedia (Ercilla *et al.*, 2016); iii) el desarrollo de deslizamientos en la superficie actual del fondo marino en los flancos septentrionales de mayor pendiente de las estructuras de plegamiento; y iv) el aumento de espesor de las unidades sedimentarias en los pliegues sinclinales relacionada con el continuo incremento de agradación en los surcos sinclinales como consecuencia de la deformación durante el depósito de estas unidades sedimentarias.

La continuidad entre las estructuras descritas en los dos sectores es problemática, dada la densa fracturación existente al este del sector occidental con fallas de dirección NO-SE y comportamiento dextror-normal (Vázquez *et al.*, 2016). Al comparar la geometría de las estructuras se puede inferir una similitud entre los pliegues asociados con E5 y E6 al oeste y los pliegues asociados con E2 y E3 al este, si bien esta continuidad no es concluyente.

La intensidad de la deformación de los pliegues disminuye hacia el oeste y aumenta hacia el este donde los pliegues presentan configuraciones más apretadas. Hacia el este la dirección de los pliegues diverge ligeramente, este factor podría permitir generar nuevos pliegues entre los descritos en el sector occidental. Por otro lado los pliegues del margen de Adra tendrían continuidad con los descritos en el Campo de Dalias (Pedrera *et al.*, 2012).

El desarrollo durante el Cuaternario de estas estructuras compresivas es coherente con el modelo de indentación tectónica propuesto en el sector central del Mar de Alborán (Estrada *et al.*, 2018). En este escenario, la deformación se transmite de forma directa a la cobertera sedimentaria en la que se produciría un sistema de cabalgamientos de bajo ángulo, cuyo movimiento favorece el plegamiento de las unidades sedimentarias suprayacentes, llegando a fracturar con fallas inversas secundarias el anticlinal (E5) situado sobre el cabalgamiento frontal del sistema. Este sistema de cabalgamientos y pliegues se formaría como consecuencia de la resistencia ejercida por el basamento del margen de Adra, inclinado como parte del flanco sur de la antiforma de la Sierra de la Contraviesa (Pedrera *et al.*, 2012).

## Conclusiones

Se han identificado siete elevaciones rectilíneas alargadas y cuatro depresiones a partir del análisis geomorfológico del talud medio del Margen de Adra, que están generados por un tren de pliegues con anticlinales de flancos ligeramente asimétricos que aumentan su pendiente y asimetría hacia el norte.

Se propone que estos pliegues son el resultado de la actividad de un sistema de cabalgamientos ciegos que afecta, al menos, a las unidades sedimentarias de esta cuenca. Este sistema de cabalgamientos, y pliegues asociados, asumirían parte de la deformación generada por la compresión hacia el norte de la dorsal de Alborán en el modelo de indentación tectónica propuesto para la parte central de esta cuenca.

## Agradecimientos

Este trabajo es una contribución al proyecto RIGEL2 (IEO, CSIC) y el proyecto AGORA de la Junta de Andalucía (P18-RT-3275). Además es una contribución a los grupos del Programa Andaluz de Investigación RNM-148 y RNM-328. Agradecemos su labor al capitán y tripulantes del buque oceanográfico Ramón Margalef.

## Referencias

- Ballesteros, M., Rivera, J., Muñoz, A., Muñoz-Martín, A., Acosta, J., Carbó, A., et al. (2008). Alboran Basin, Southern Spain-Part II: Neogene Tectonic Implications for the Orogenic Float Model. *Marine and Petroleum Geology*, 25: 75–101.
- Buform, E., Pro, C., Sanz de Galdeano, C., Cantavella, J.V., Cesca, S., Caldeira, B., Udías, A., Mattesini, M. (2017). The 2016 South Alboran Earthquake (Mw 6.4): A Reactivation of the Ibero-Maghrebien Region? *Tectonophysics*, 712-713: 704–715.
- d'Acremont, E., Lafosse, M., Rabaute, A., Teurquety, G., Do Couto, D., Ercilla, G., Juan, C., de Lépinay, B.M., Lafuerza, S., Galindo-Zaldívar, J., Estrada, F., Vázquez, J.T., Leroy, S., Poort, J., Ammar, A., Gorini, C. 2020. Polyphase Tectonic Evolution of Fore-Arc Basin Related to STEP Fault as Revealed by Seismic Reflection Data From the Alboran Sea (W-Mediterranean). *Tectonics*, 39 (3): art. no. e2019TC005885.
- Ercilla, G., Juan, C., Hernández-Molina, F.J., Bruno, M., Estrada, F., Alonso, B., Casas, D., Farran, M., Llave, E., García, M., Vázquez, J.T., D'Acremont, E., Gorini, C., Palomino, D., Valencia, J., El Mounni, B., Ammar, A. 2016. Significance of bottom currents in deep-sea morphodynamics: An example from the Alboran Sea. *Marine Geology*, 378: 157-170.
- Estrada, F., Galindo-Zaldívar, J., Vázquez, J.T., Ercilla, G., D'Acremont, E., Alonso, B., Gorini, C. 2018. Tectonic indentation in the central Alboran Sea (westernmost Mediterranean). *Terra Nova*, 30(1): 24-33.
- Galindo-Zaldívar, J., Borque, M.J., Pedrera, A., Marín-Lechado, C., Gil, A.J., López-Garrido, A.C. 2013. Deformation Behaviour of the Low-Rate Active Balanegra Fault Zone from High-Precision Levelling (Betic Cordillera, SE Spain). *Journal of Geodynamics*, 71: 43–51.
- Galindo-Zaldívar, J., Ercilla, G., Estrada, F., Catalán, M., d'Acremont, E., Azzouz, O., Casas, D., Chourak, M., Vázquez, J.T., Chalouan, A., Sanz de Galdeano, C., Benmakhlouf, M., Gorini, C., Alonso, B., Palomino, D., Rengel, J.A., Gil, A.J. 2018. Imaging the Growth of Recent Faults: The Case of 2016–2017 Seismic Sequence Sea Bottom Deformation in the Alboran Sea (Western Mediterranean). *Tectonics*, 37(8): 2513-2530.
- Gràcia, E., Pallàs, R., Soto, J.I., Comas, M., Moreno, X., Masana, E., Santanach, P., Diez, S., García, M., Dañoibeitia, J., Bartolomé, R., Farrán, M., Gómez, M., Alpiste, M.J.R., Lastras, G., Wilmott, V., Perea, H., Blondel, P., Gómez, O., Bullock, L., Jacobs, C., Rouse, I., White, D., Whittle, S., Terrinha, P., Gafeira, J., Roque, C. 2006. Active faulting offshore SE Spain (Alboran Sea): Implications for earthquake hazard assessment in the Southern Iberian Margin. *Earth and Planetary Science Letters*, 241(3-4), pp. 734-749
- Gràcia, E., Grevemeyer, I., Bartolomé, R., Perea, H., Martínez-Loriente, S., Gómez de la Peña, L., Villaseñor, A., Klinger, Y., Lo Iacono, C., Diez, S., Calahorrano, A., Camafort, M., Costa, S., d'Acremont, E., Rabaute, A., Ranero, C.R. 2019. Earthquake crisis unveils the growth of an incipient continental fault system. *Nature Communications*, 10(1): art. no. 3482.
- Grevemeyer, I., Gràcia, E., Villaseñor, A., Leuchters, W., Watts, A.B. 2015. Seismicity and Active Tectonics in the Alboran Sea, Western Mediterranean: Constraints from an Offshore-Onshore Seismological Network and Swath Bathymetry Data. *Journal of Geophysical Research*, 121: 767–787.
- Moreno, X., Gràcia, E., Bartolomé, R., Martínez-Loriente, S., Perea, H., de la Peña, L.G., ... Dañoibeitia, J.J. 2016. Seismostratigraphy and tectonic architecture of the Carboneras Fault offshore based on multiscale seismic imaging: Implications for the Neogene evolution of the NE Alboran Sea. *Tectonophysics*, 689: 115-132.
- Pedrera, A., Galindo-Zaldívar, J., Marín-Lechado, C., García-Tortosa, F.J., Ruano, P., López Garrido, A.C., Azañón, J.M., Peláez, J.A., Giaconia, F. 2012. Recent and active faults and folds in the central-eastern internal zones of the Betic Cordillera. 2012, *Journal of Iberian Geology*, 38(1): 203-221.
- Perea, H., Gràcia, E., Martínez-Loriente, S., Bartolomé, R., de la Peña, L.G., de Mol, B., Moreno, X., Iacono, C.L., Diez, S., Tello, O., Gómez-Ballesteros, M., Dañoibeitia, J.J. 2018. Kinematic analysis of secondary faults within a distributed shear-zone reveals fault linkage and increased seismic hazard. *Marine Geology*, 399: 23-33.
- Vázquez, J.T., Estrada, F., Vegas, R., Ercilla, G., Alonso, B., Fernández-Salas, L.M., d'Acremont, E., Fernández-Puga, M.C., Gómez-Ballesteros, M., Bárcenas, P., Palomino, D., Gorini, Ch. 2016. Geomorfología submarina en relación con la actividad tectónica Cuaternaria en la Cuenca del Mar de Alborán, En: *Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro*, Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Geología y Geofísica Nº 5 (J.J. Durán Valsero, M. Montes Santiago, A. Robador Moreno, A. Salazar Rincón, Eds.), IGME, Madrid, 587-595.
- Vázquez, J.T., Estrada, F., Ercilla, E., D'Acremont, E., Fernández Salas, L.M., Galindo-Zaldívar, J., Palomino, D., Alonso, B., Juan, C., Gorini, Ch., Vegas, R. 2018. Geomorphology and Quaternary deformations related to fault zones in the Motril-Djibouti Marginal Plateau. En: *Avances En: El Estudio de Fallas Activas, Terremotos y Peligrosidad Sísmica de Iberia* (C. Canora, F. Martín, E. Masana, R. Pérez y M. Ortuño, Eds.) - Tercera reunión ibérica sobre fallas activas y paleosismología, Alicante, España. Los Autores, Alicante, 137-140.
- Vázquez, J.T., Ercilla, G., Alonso, B., Peláez, J.P., Palomino, D., León, R., Bárcenas, P., Casas, D., Estrada, F., Fernández-Puga, M.C., Galindo-Zaldívar, J., Henares, J., Llorente, M., Sánchez-Guillamón, O., d'Acremont, E., Ammar, A., Chourak, A., Fernández Salas, L.M., López González, N., Lafuerza, S. 2022. Triggering processes of tsunamis in the Alboran Sea and Gulf of Cádiz: A general review. En: *Historical Earthquakes and Tsunamis in the Iberian Peninsula - An Interdisciplinary Dialogue* (M. Álvarez Martí-Aguilar, F. Machuca Prieto, Eds.). Natural Science in Archaeology. Springer, Singapore, 65–104.