

## FRACTURACIÓN NORMAL DURANTE EL CUATERNARIO SUPERIOR EN LA PLATAFORMA CONTINENTAL SEPTENTRIONAL DEL GOLFO DE CÁDIZ (SO DE IBERIA).

### *Late Quaternary Normal Faulting on the Northern Continental Shelf of the Cadiz Gulf (SW Iberia).*

J.T. Vázquez (1), M.C. Fernández-Puga (2) T. Medialdea (3), V. Díaz del Río (1), L.M. Fernández-Salas (1), E. Llave (3), F.J. Lobo (4), F.C. Lopes (5), A. Maldonado (4), L. Somoza (3) y D. Palomino (1)

(1) Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Málaga. Puerto Pesquero s/n. 29640-Fuengirola. España.

[juantomas.vazquez@ma.ieo.es](mailto:juantomas.vazquez@ma.ieo.es), [diazdelrio@ma.ieo.es](mailto:diazdelrio@ma.ieo.es), [luismi.fernandez@ma.ieo.es](mailto:luismi.fernandez@ma.ieo.es), [desiree.palomino@ma.ieo.es](mailto:desiree.palomino@ma.ieo.es)

(2) Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz. Avda. República Saharaui s/n. 11510-Puerto Real. España. [mcarmen.fernandez@uca.es](mailto:mcarmen.fernandez@uca.es)

(3) Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas, nº 23. 28005 Madrid, España. [t.medialdea@igme.es](mailto:t.medialdea@igme.es), [e.llave@igme.es](mailto:e.llave@igme.es), [l.somoza@igme.es](mailto:l.somoza@igme.es)

(4) Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (IACT), CSIC/Universidad de Granada. Campus Fuentenueva s/n. 18002-Granada. [pacolobo@ugr.es](mailto:pacolobo@ugr.es), [amaldona@ugr.es](mailto:amaldona@ugr.es)

(5) Departamento de Ciências da Terra, FCT, CGUC, Universidade de Coimbra. 3000-272 Coimbra. Portugal. [fcarlos@dct.uc.pt](mailto:fcarlos@dct.uc.pt)

**Resumen/resumo:** Una revisión de la base de perfiles sísmicos existente en el sector septentrional de la plataforma continental del Golfo de Cádiz ha permitido identificar y caracterizar una serie de fallas normales que afectan a las unidades sedimentarias del Cuaternario superior. En el margen Bético, zona comprendida entre las localidades de Chipiona y Conil de la Frontera, la dirección de estas fallas varía entre NO-SE y E-O, mientras que en el margen del Algarve, entre las localidades de Faro y Tavira, las fallas siguen una tendencia de N-S a NO-SE. En el margen Bético la formación de estas fallas se ha relacionado en profundidad con la reactivación de fallas lístricas normales de edad Plioceno-Cuaternario y dirección general ONO-ESE, y/o desarrollo de estructuras diapíricas, mientras que en el margen del Algarve se han relacionado, a mayor profundidad, con fallas normales de basamento y estructuras diapíricas de dirección N-S a NO-SE.

**Palabras clave:** Fallas normales, Sísmica de alta resolución, Plataforma Continental, Golfo de Cádiz, Cuaternario superior.

**Abstract:** A revision of the seismic profiles database in the northern sector of the continental shelf of the Gulf of Cadiz has allowed us to identify and characterized several normal faults that affect the Upper Quaternary sedimentary units. In the Betic Margin, between Chipiona and Conil de la Frontera, these faults have a NW-SE to E-W trend, whereas in the Algarve Margin, between Faro and Tavira, these faults follow a N-S to NW-SE direction. In the Betic Margin, Upper Quaternary faults have been associated with WNW-ESE normal listric faults and diapiric structures and in the Algarve Margin, they have been related to N-S to NW-SE basement faults, at higher depths, and to diapiric structures also.

**Key words:** Normal fault, High resolution seismic, Continental shelf, Cadiz Gulf, Late Quaternary

## INTRODUCCIÓN

La estructura del margen continental del Golfo de Cádiz está controlada por la formación del orógeno Bético-Rifeño, en el contexto de la evolución compresiva alpina del sur de Iberia, y por los procesos tectónicos post-orogénicos relacionados con la dinámica del límite tectónico entre las placas de Eurasia y Nubia. En el margen septentrional del Golfo de Cádiz se puede diferenciar, de sur a norte, dos sectores principales, el margen Bético y el margen sudportugués o del Algarve. En el margen Bético la plataforma continental se sitúa sobre las unidades correspondientes a la cadena Bética, de sur a norte se pasa de las Unidades del Flysch del Campo de Gibraltar a las Unidades de las Zonas Externas Béticas, representadas por las unidades Subbéticas y el Complejo Alóctono del Golfo de Cádiz. Este complejo se extiende hacia el norte sobre la cuenca de antepaís del Guadalquivir y hacia el oeste sobre el margen continental (Medialdea et al., 2004). Hacia el norte, el margen está controlado por la geometría de la cuenca de antepaís, e incluso en el margen sudportugués, o del Algarve, la

plataforma se sitúa sobre las propias unidades del antepaís (Cuenca Mesozoico-Cenozoica del Algarve) que se encuentran claramente basculadas hacia el sur (Lopes et al, 2006).

El emplazamiento hacia el oeste de las Unidades Béticas en el margen continental tuvo lugar a lo largo del Mioceno Inferior y Medio (Maldonado et al., 1999) como consecuencia del escape en esta dirección de la microplaca de Alborán bajo un régimen compresivo general de dirección N-S. Desde el Tortonense superior la historia tectónica de la región ha estado controlada por un régimen de esfuerzos compresivo, oblicuo al límite de placas, de dirección general NO-SE que evolucionó a ONO-ESE (Ribeiro et al., 1996; Herraiz et al., 2000).

Desde el principio de la década de los años 90 se han desarrollado varios proyectos científicos en la plataforma continental septentrional del Golfo de Cádiz. En el marco de dichos proyectos se han realizado varias campañas de prospección sísmica de reflexión de distinto tipo (Fig. 1): HE-90-1 (Airgun Multicanal), G-86-1 (Airgun monocanal de alta

resolución), GOLCA-93 (Boomer), FADO-9611 (Boomer), FADO-9711 (Sparker y Boomer), WADIANA-2000 (Boomer). Los resultados de dichas campañas han permitido tener un conocimiento detallado de la arquitectura estratigráfica plioceno-cuaternaria de la plataforma continental (Somoza et al., 1997; Rodero et al., 1999; Hernández-Molina et al., 2002; Lobo et al., 2005a, 2005b; y referencias citadas por estos autores), así como de sus características geomorfológicas (Hernández-Molina & Lobo, 2005).

Holoceno), tal como éstas han sido definidas en la bibliografía estratigráfica anteriormente citada. De sur norte estas zonas son: el área de San Fernando-Conil de la Frontera, el entorno de la Bahía de Cádiz, el área de Chipiona-Rota, estas tres en el margen Bético, y el área de Tavira-Faro en el margen del Algarve (Fig. 1).

Estas fracturas aparecen en los perfiles sísmicos de alta resolución con geometrías de falla normal, plano de falla pseudovertical, saltos de falla de pequeña

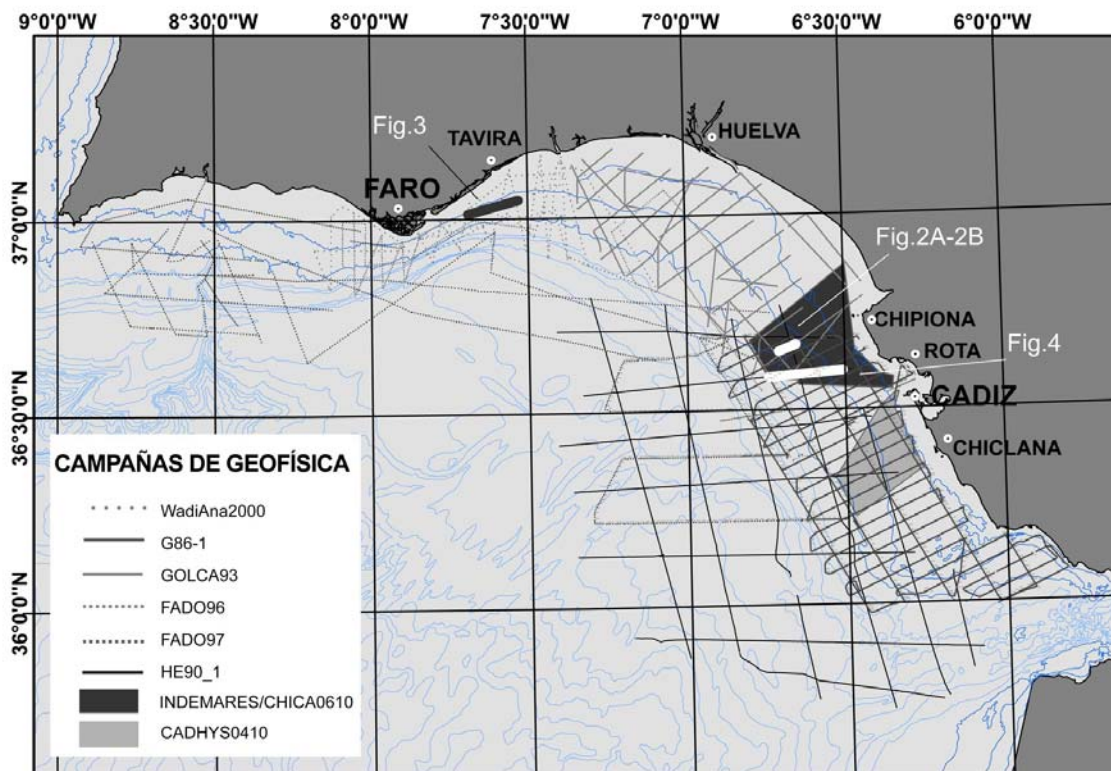


Figura 1: Mapa de posicionamiento de las campañas de prospección sísmica utilizadas sobre la plataforma continental de los sectores septentrional y oriental del Golfo de Cádiz.

Figure 1. Location map of seismic profile data base used on the northern and eastern sectors of the continental shelf of the Cadiz Gulf.

El objetivo de este trabajo ha consistido en identificar y caracterizar las zonas de fracturación más moderna en los sectores correspondientes a los márgenes Bético y del Algarve de la plataforma continental septentrional del Golfo de Cádiz. Para alcanzar este fin se han analizado los perfiles sísmicos obtenidos en las campañas anteriormente citadas junto con los obtenidos este mismo año 2010 con técnicas acústicas de alta resolución (ecosonda multihaz 3002D y sonda paramétrica TOPAS PS40), en dos nuevas campañas (CADHYS0410 e INDEMARES-CHICA0610).

## RESULTADOS

El análisis de los perfiles sísmicos de reflexión, de esta base de datos, ha permitido localizar y caracterizar, a lo largo de la plataforma continental septentrional del Golfo de Cádiz, varias áreas donde se observa la presencia de fracturación muy reciente, que afecta a las unidades sedimentarias cuaternarias más modernas (Pleistoceno superior –

magnitud que alcanzan como máximo 20 ms TD (Figs. 2 y 3) y es frecuente que afecten a unidades postglaciares. En algún caso las fallas forman escarpes de pequeña pendiente y desnivel (entre 5 y 10 m) en la superficie del fondo.

En la plataforma continental del margen Bético se ha reconocido la presencia de estas fallas normales recientes en al menos tres áreas: *i*) en la plataforma media-externa frente a las localidades de San Fernando y Conil de la Frontera, las fallas más recientes aparecen con orientaciones comprendidas entre NO-SE y ONO-ESE (Maldonado et al., 1999; Rodero et al., 1999) y generan desniveles de pendiente suaves, alrededor de 5-10 m, sobre la superficie de la plataforma; *ii*) en la Bahía de Cádiz y área adyacente se han identificado fallas normales con direcciones NO-SE a ONO-ESE, descritas previamente por Vázquez et al. (2000) afectando a las unidades holocenas del Complejo de Alto Nivel; *iii*) en la plataforma media-externa frente a las poblaciones de Chipiona y Rota (Fig. 2), se han localizado fracturas que siguen orientaciones E-O a

ONO-ESE y afectan a unidades holocenas del Complejo de Alto Nivel pertenecientes al sistema prodeltaico del Río Guadalquivir (Lobo et al., 2005a).

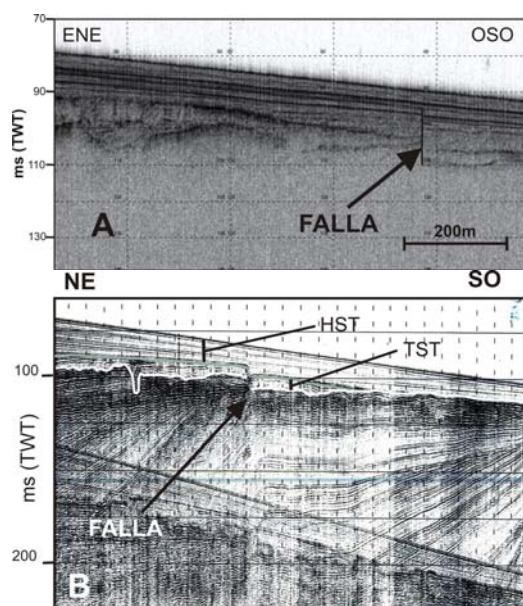


Figura 2: A) Perfil sísmico de muy alta resolución (Campaña CHICA0410) a través de una de las fallas caracterizadas frente a la localidad de Chipiona en la plataforma continental oriental del Golfo de Cádiz. B) Perfil sísmico de alta resolución (Campaña GOLCA93) coincidente con el perfil 2A. TST: Cortejo Transgresivo del Pleistoceno superior; HST: Cortejo sedimentario de Alto Nivel Holoceno.

Figure 2. A) Very high resolution seismic profiles (CHICA0410 Survey) across one of the characterized faults in front off Chipiona village, eastern continental shelf of the Gulf of Cádiz. B) High resolution seismic profiles (GOLCA-93 Survey) in the same area. TST: Upper Pleistocene Transgressive System Tract; HST: Holocene High Stand System Tract.

Las fallas localizadas frente a Chipiona y Rota, y probablemente las fallas localizadas en el entorno de la Bahía de Cádiz, presentan una clara relación con fallas lístricas de edad Plioceno-Cuaternario enraizadas en el Complejo Alóctono del Guadalquivir (Vázquez et al., 2008) y con el desarrollo de estructuras diapíricas procedentes de este complejo (Fig. 4). En el caso de las fallas localizadas en la zona de San Fernando – Conil de la Frontera, también se ha descrito la presencia de estructuras diapíricas en profundidad, si bien su dirección no coincide con la diferenciada para las fallas más superficiales.

En la plataforma continental del margen del Algarve, se han identificado fallas normales afectando de distinta forma a las unidades sedimentarias del Pleistoceno superior - Holoceno (Lobo et al., 2005b) entre las localidades de Faro y Tavira (Fig. 3). En este sector las fallas han sido descritas previamente por Lobo et al. (2003), y las más significativas siguen direcciones próximas a N-S y presentan saltos de falla de hasta 10 ms TD y en algún caso llegan a deformar a las unidades holocenas de alto nivel.

Las fallas del cuaternario superior han sido relacionadas por Lobo et al. (2003) con la reactivación de fallas profundas, de basamento, de

dirección NO-SE a N-S. Estas fallas son estructuras principales en el margen sudportugués y producen la compartimentación transversal de todo el margen, y condicionan el desarrollo de estructuras diapíricas con esta misma dirección, tal como han sido descritas por Lopes et al. (2006).

## CONCLUSIONES

Se han diferenciado en los perfiles sísmicos de alta resolución un conjunto de fallas normales muy recientes, que afectan a las unidades sedimentarias del Pleistoceno superior – Holoceno (Figs. 2 y 3). En algunas zonas hay evidencias claras de fracturación afectando a los depósitos postglaciares (Cortejo Sedimentario Transgresivo + Alto Nivel del Mar), y en algún caso llegan a producir escarpes de amplitud moderada sobre la superficie de la plataforma continental. Su tendencia varía de NO-SE a E-O en la plataforma del margen Bético, si bien la dirección ONO-ESE parece tener más relevancia, mientras que en la plataforma del margen del Algarve su dirección oscila entre NNE-SSO y NO-SE.

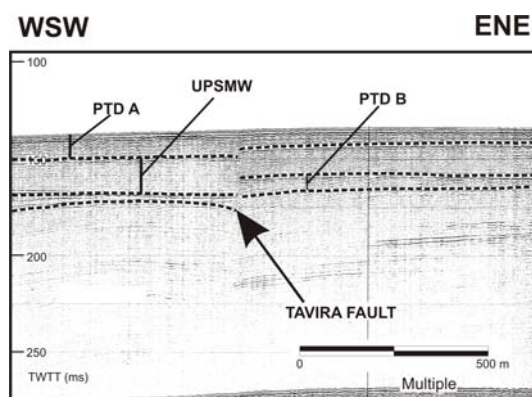


Figura 3: Perfil sísmico de alta resolución (Campaña WADIANA-2000) a través de la falla de Tavira en la plataforma continental del Algarve. PTDA: Depósitos transgresivos postglaciares; UPSMW: Cuña de borde de plataforma del Pleistoceno superior.

Figure 3. High resolution seismic profiles (WADIANA-2000 Survey) across The Tavira Fault, continental shelf of the Algarve. PTDA: Postglacial transgressive deposit; UPSMW: Upper Pleistocene shelf-margin wedge.

El origen de estas fracturas se relaciona con distintos procesos tectónicos. En la plataforma del margen Bético las fallas identificadas se relacionan preferentemente con la reactivación de fallas lístricas normales observadas en perfiles sísmicos de multicanal (Fig. 4), de edad Plioceno-Cuaternario que están enraizadas en el complejo Alóctono del Guadalquivir (Maldonado et al., 1999; Medialdea et al., 2004), mientras que en el sector del Algarve se propone que su origen se relaciona con la reactivación de fallas de basamento generadas en el episodio de fracturación tardihercínico y que han tenido un importante papel a lo largo de la evolución alpina de este margen (Lopes et al., 2006). En ambos márgenes Bético y del Algarve se ha observado la presencia de una importante actividad diapírica que podría haber favorecido el desarrollo de estas fallas.



La formación de estas fracturas normales es compatible con el régimen compresivo oblicuo dominante en la actualidad, pues su dirección es paralela o subparalela a la dirección de compresión regional (Herraiz et al., 2000)

**Agradecimientos:** Este trabajo se lleva a cabo en el contexto de los proyectos CONTOURIBER (CTM2008-06399-C04/MAR), MONTERA (CTM2009-14157-C02), CADHYS (P08-RNM-03581), INDEMARES-CHICA (LIFE 07/NAT/E/000732), TOPOMED (CGL2008-03474-E), y del grupo PAI RNM-328.

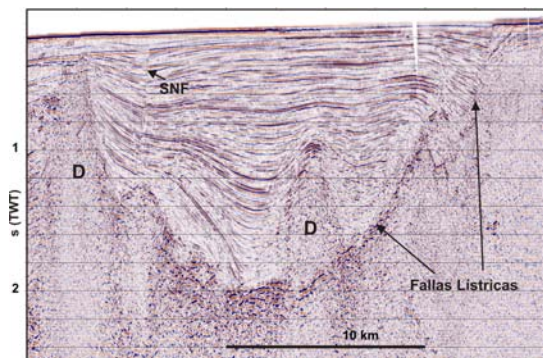


Figura 4: Perfil de sismica multicanal obtenido en la campaña HE-90-1 en la zona de Chipiona-Rota donde se observan fallas lístricas normales que afectan a las unidades de edad Plioceno y Cuaternario, su asociación con un pequeño escarpe en la superficie del margen, pliegues de las unidades sedimentarias, diapirismo (D) y fallas normales secundarias (SNF).

Figure 4. A multichannel seismic reflection profile (HE-90-1 survey) in the zone off Chipiona-Rota. It can be observed two normal listric faults deforming Pliocene-Quaternary units and their relation to a short scarp on the continental margin surface, folding of sedimentary units, diapirism (D) and secondary normal faults (SNF).

## Referencias bibliográficas

Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Vázquez, J.T., Lobo, F.J., Fernández-Puga, M. C., Llave, E. & Díaz-del Río, V. (2002). Quaternary stratigraphic stacking patterns on the continental shelves of the southern Iberian Peninsula: Their relationship with global climate and palaeoceanographic changes. *Quaternary International*, 92 (5), 5-23.

Hernández-Molina, F.J. & Lobo, F.J. (2005). El margen continental del Golfo de Cádiz. En: *Memoria del "Mapa Geomorfológico de España y del margen continental" a escala 1:1.000.000* (A. Martín Serrano, ed.), 211-218.

Herraiz, M., de Vicente, G., Lindo-Naupari, R., Giner-Robles, J.L., Simón, J.L., González Casado, J.M., Vadillo, O., Rodríguez-Pascua, M., Cicuéndez, J.I., Casas, A., Cabañas, L., Rincón, P., Cortés, A.L., Ramírez, M. & Lucini, M. (2000). Recent (Upper Miocene to Quaternary) and present tectonic stress distributions in the Iberian Peninsula. *Tectonics*, 19 (4), 762-786.

Lobo, F.J., Dias, J.M.A., Vázquez, J.T., Díaz Del Río, V., González, R., & Fernández-Puga, M.C. (2003). New Data about Neotectonic Activity in the Eastern Algarvian Shelf, Gulf of Cadiz, SW Iberian Peninsula. *Thalassas*, 19 (2a), 63-64.

Lobo, F.J., Fernández-Salas, L.M., Hernández-Molina, F.J., González, R., Dias, J.M.A., Díaz del Río, V. & Somoza, L. (2005a). Holocene highstand deposits in the Gulf of Cadiz, SW Iberian Peninsula: A high-resolution record of hierarchical environmental changes. *Marine Geology*, 219, 109-131.

Lobo, F.J., Dias, J.M.A., Hernández-Molina, F.J., González, R., Fernández-Salas, L.M. & Díaz del Río, V. (2005b). Late Quaternary shelf-margin wedges and upper slope progradation in the Gulf of Cadiz margin (SW Iberian Peninsula). En: *Submarine Slope Systems: Processes and Products*. (D.M. Hodgson & S.S. Flint, eds.) Geological Society, London, Special Publication, 244, 7-25.

Lopes F.C., Cunha P.P. & Le Gall B. (2006). Cenozoic seismic stratigraphy and tectonic evolution of the Algarve margin (offshore Portugal, southwestern Iberian Peninsula). *Marine Geology*, 231, 1-36.

Maldonado, A., Somoza, L. & Pallarés, L. (1999). The Betic orogen and the Iberian-African boundary in the Gulf of Cadiz: geological evolution (central North Atlantic). *Marine Geology*, 155: 9-43.

Medialdea, T., Vegas, R., Somoza, L., Vázquez, J.T., Maldonado, A., Díaz-del-Río, V., Maestro, A., Córdoba, D. & Fernández-Puga, M.C. (2004). Structure and evolution of the "Olistostrome" complex of the Gibraltar Arc in the Gulf of Cádiz (eastern Central Atlantic): evidence from two long seismic cross-sections. *Marine Geology*, 209 (1-4): 173-198.

Somoza, L., Hernández-Molina, F.J., De Andrés, J.R. & Rey, J. (1997). Continental shelf architecture and sea-level cycles: Late Quaternary high-resolution stratigraphy of the Gulf of Cádiz, Spain. *Geo-Marine Letters*, 17, 133-139.

Rodero, J., Pallarés, L. & Maldonado, A. (1999). Late Quaternary seismic facies of the Gulf of Cadiz Spanish margin: depositional processes influenced by sea-level change and tectonic controls (Central North Atlantic). *Marine Geology*, 155, 131-156.

Vázquez, J.T., Llave, E., Hernández-Molina, F.J. & López-Aguayo, F. (2000). Principales rasgos morfotectónicos de la Bahía de Cádiz durante el Cuaternario terminal. *Geo-Temas*, 1 (4), 239-242.

Vázquez, J.T., Medialdea, T., Somoza, L., Vegas, R. & Fernández Puga, M.C. (2008). Revisión de las estructuras neotectónicas en la región del Golfo de Cádiz: Margen continental y Llanuras abisales adyacentes. *Geo-Temas*, 10 (SO7028), 591-594.