

# Paleoesfuerzos en las cuencas de antepaís en la parte noroccidental del arco de gibraltar (mioceno superior-actualidad)

*Palaeostress reconstruction in the foreland basins of the northwestern part of gibraltar arc (upper miocene to the present)*

Camacho, M.A.; García-Navarro, E.; Fernández, C. y Alonso-Chaves, F.M.

Departamento de Geología, Universidad de Huelva. Campus de La Rábida, E-21819 Palos de la Frontera (Huelva, España)

## Abstract

Graphical and numerical methods of fault slip data inversion have been applied to obtain palaeostress reconstructions in Neogene and Quaternary basins, located in the northwestern part of Gibraltar Arc. The most important brittle structures affecting these sediments are high-angle faults with oblique-slip. Two sets of faults with NW-SE and NE-SW trends have been distinguished. The trend of the major axis of the palaeostress ellipse in the horizontal plane has rotated from E-W in the Upper Miocene to NW-SE in the Pliocene-Quaternary.

**Key words:** Faulting analysis, Palaeostress, Alpine Tectonic, Gibraltar Arc.

Geogaceta, 25 (1999), 59-62  
ISSN: 0213683X

## Introducción

En el sur de la Península Ibérica se han formado numerosas cuencas neógenas en relación con la tectónica alpina (Fig. 1). Uno de los contactos de orden mayor en el Orógeno Bético-Rifeño es el Cabalgamiento Cortical de Gibraltar (C.C.G.), cuyo bloque de techo es conocido como dominio de Alborán, que cabalga sobre las distintas unidades del dominio Sudibérico (Balanyá y García-Dueñas, 1988). El Dominio de Alborán está formado por diversos complejos tectónicos en los que hay rocas paleozoicas y triásicas, intensamente deformadas bajo diferentes condiciones metamórficas.

Sobre el Dominio de Alborán hay cuencas que actualmente están aisladas entre sí, formadas desde el Aquitaniense hasta el Plioceno (Rodríguez Fernández, 1982; Comas *et al.*, 1992). Estas cuencas, que han sido objeto de numerosos estudios, son interpretadas en relación con diversos episodios de *rifting* que han contribuido al adelgazamiento cortical detectado en el Mar de Alborán. En el bloque de muro del CCG también se han originado cuencas neógenas sobre los materiales mesozoicos que forman parte del Dominio Sudibérico. La Depresión del Guadalquivir es la cuenca terciaria más grande al Sur del Macizo Ibérico (Fig. 1). El límite meridional de dicha cuenca es tectónicamente complejo y más activo que el borde septentrional.



Fig. 1. Esquema tectónico en el Sur de la Península Ibérica y Norte de Marruecos.

Fig. 1.-Tectonic map for South Iberia and North Morocco.

En este trabajo se presenta un análisis poblacional de fallas realizado en secuencias sedimentarias, situadas al oeste del Arco de Gibraltar con edades comprendidas entre el Mioce-

no superior y el Plioceno. Se han obtenido las orientaciones de los tensores de esfuerzo para el Mioceno superior-Plioceno inferior y Plioceno superior-Cuaternario.

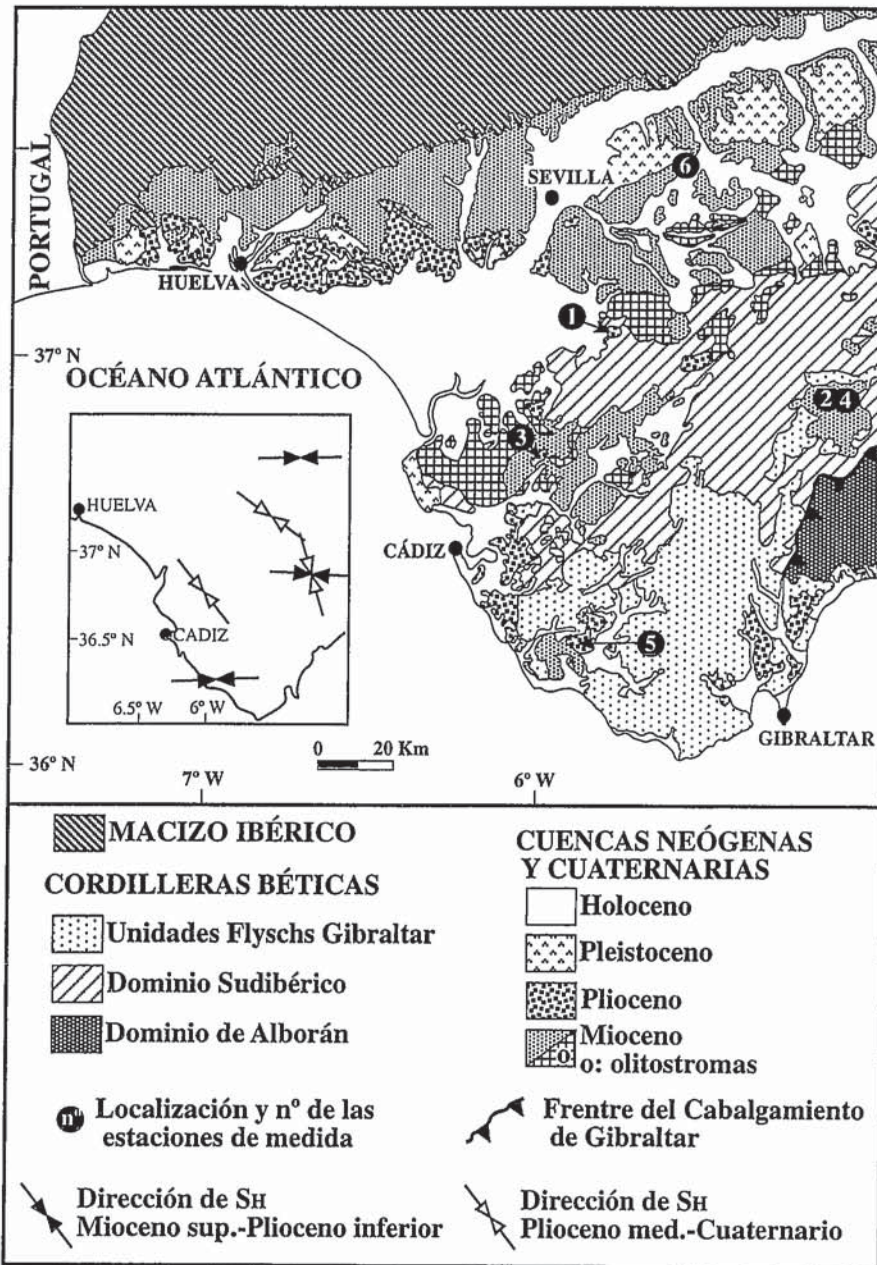


Fig. 2. Cuencas neógenas y cuaternarias al Norte del Estrecho de Gibraltar y esquema de paleoesfuerzos desde el Mioceno superior a la actualidad.

Fig. 2.-Neogene and Quaternary basins to Northern of Gibraltar Strait and palaeostress sketch from Upper Miocene to the Present

**Cuencas Neógenas y Cuaternarias**

Los materiales neógenos de la zona estudiada (Fig. 2) se pueden dividir de acuerdo con su edad y litología :

a) Sedimentos miocenos de carácter marino, constituidos en su tramo basal por arcillas azules con un espesor que varía entre 100 metros en Arcos de la Frontera y 50 metros en Bornos. Hacia techo aparecen gradualmente biocalcarenitas y arenas con restos de macrofauna, también depositadas en medio marino. La potencia para estos materiales oscila entre 200

metros en Bornos y Arcos de la Frontera, mientras que en Espera su espesor es de 50 metros.

b) El Plioceno es discordante sobre las series miocenas, y está formado por arenas de grano fino, a veces muy cementadas, con intercalaciones de margas y niveles calcareníticos con un alto contenido en macrofauna. Este tramo arenoso-calcarenítico presenta una potencia máxima de 40 a 50 metros. Es frecuente la existencia de foraminíferos bentónicos, pero sin valor cronoestratigráfico, aunque por la posición de estos materiales en la serie se pueden atribuir al Plioceno infe-

rior y medio (Viguiet, 1974). En la parte superior de la serie hay calizas blancas con niveles de sílex con una potencia aproximada de 5 metros, y afloran en Torre Melgarejo y en El Cuervo, entre otros. En ellas es característica la presencia de gasterópodos de origen lacustre (Benkhelil, 1976). Viguiet (1974) ha correlacionado este tramo de la serie con otras formaciones lacustres en el Mediterráneo occidental, datadas como Plioceno superior.

**Metodología**

Para abordar el estudio de los paleoesfuerzos desde el Mioceno superior a la actualidad se han usado técnicas de análisis poblacional de fallas a partir de muestreos realizados en distintas cuencas terciarias de las provincias de Cádiz y Sevilla (Fig. 2). En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en algunas de las estaciones más significativas. Los mejores resultados se obtienen a partir de las poblaciones de fallas medidas en calcarenitas, areniscas y calizas. Cuando ha sido posible se ha establecido en el campo una secuencia temporal de fracturación. Por otra parte, las estaciones de medida se corresponden con formaciones sedimentarias de diferentes edades, comprendidas entre el Mioceno superior y el Plioceno. A cada población de datos le hemos aplicado el método de Diedros Rectos (Pegoraro, 1972; Angelier y Mechler, 1977) y el método de Inversión de Esfuerzos (Reches, 1987). El primero de ellos es un método gráfico que define sectores, dentro de una proyección equiareal, en los que con mayor probabilidad se localizarán los ejes principales del elipsoide de esfuerzos. La orientación precisa de dichos ejes puede obtenerse a partir del método de Inversión de Esfuerzos, con el que es posible además separar diversos tensores, y obtener la relación áxica para los ejes principales del elipsoide de esfuerzos y el coeficiente de fricción.

**Resultados**

La mayoría de las fallas son de alto ángulo y pueden agruparse según dos direcciones preferentes: NE-SW y NW-SE (Tab.1). Son fallas con deslizamiento oblicuo cuya componente de salto en dirección es mayor que la componente de salto en buzamiento. Para cada familia de fallas se observa una orientación constante de las estrías, ya que todas ellas quedan comprendidas en un abanico que no suele superar los 15°. En cada estación se define con facilidad las diferentes familias de fallas de acuerdo con la dirección y senti-

do de buzamiento del plano de cizalla. Las fallas formadas durante el Plioceno superior tienen dos orientaciones preferentes: NE-SW con buzamientos hacia el NW; y fallas de dirección NW-SE a N-S, con buzamientos hacia el W, aunque estas últimas están menos representadas. Las fallas del Plioceno superior medidas en las estaciones de El Palmar y Olvera-Setenil(1) tienen estrías que definen cabeceos inferiores a 45° tanto al N y NE como al WSW. Durante este mismo periodo también se forman fallas en las que la componente principal del salto es según el buzamiento, véase por ejemplo la estación de Torremelgarejo. En el Mioceno superior-Plioceno inferior se encuentran también representadas dos familias de planos de cizalla: una de ellas con direcciones próximas al NE-SW y sentido de buzamiento hacia el SE; y otra familia, perpendicular a la anterior, según la dirección NW-SE y buzamientos al NE.

En la tabla 1 se indican los resultados obtenidos para cada uno de los métodos de análisis poblacional de fallas en algunas de las estaciones más representativas. Obsérvese la compatibilidad de los resultados de acuerdo con los dos métodos utilizados. Las estaciones realizadas en materiales del Plioceno superior ajustan con un tensor de esfuerzo, en relación con fallas de desgarre e inversas, en el que la dirección de compresión máxima en la horizontal (SH) es NW-SE. La inclinación de  $\sigma_1$  no es constante en todas las estaciones. En los materiales del Mioceno superior - Plioceno inferior, aparte del tensor anteriormente descrito como Plioceno superior, se ha detectado otro cronológicamente anterior, en relación con fallas de desgarre y normales, donde la dirección de SH es aproximadamente E-W definida por la orientación de  $\sigma_2$ , ya que el eje  $\sigma_1$  se encuentra próximo a la vertical.

**Discusión y Conclusiones**

En las cuencas neógenas de las provincias de Cádiz y Sevilla situadas por delante del Arco de Gibraltar se observan dos familias de fallas con alto ángulo, sus direcciones son NW-SE y NE-SW. Se trata de un patrón de fracturación bien establecido en el sur de la Península Ibérica. Las estructuras neotectónicas más importantes al Este del Estrecho de Gibraltar se caracterizan por la reactivación de fallas con direcciones NW-SE -preferentemente- y NE-SW (Sanz de Galdeano, 1997; Rodríguez-Vidal *et al.*, 1998). Las fallas activas en el Golfo de Cádiz, de acuerdo con los datos de sismicidad reciente (Carmacho y Alonso-Chaves, 1997), tienen

	Nº ESTACIÓN (COORDEN.)	CICLOGRÁF.	DIEDROS RECTOS	INV. DE ESFUERZOS
PLIOCENO MED.-CUATERNARIO	1 EL PALMAR Long: 5° 48' Lat: 37° 3'			 R=0.42
	2 CRA. OLVERA-SETENIL (1) Long: 5° 11.5' Lat: 36° 51.5'			 R=0.49
	3 TORRE MELGAREJO Long: 6° 1.5' Lat: 36° 43'			 R=0.11
MIOCENO SUP.-PLIOCENO INF.	4 CRA. OLVERA-SETENIL (2) Long: 5° 11.5' Lat: 36° 51.5'			 R=0.42
	5 VEJER SUR Long: 5° 55' Lat: 36° 15'			 R=0.32
	6 CARMONA Long: 5° 38.5' Lat: 37° 28'			 R=0.34
		<p><b>R: Relación áxica del elipsoide de esfuerzos</b></p> <p>- Compresión +</p>		

Tabla 1. Estaciones de medida y tensores de esfuerzo.

Tabla 1.-Data of faults and stress tensors

una orientación similar a las fallas estudiadas en este trabajo. Es posible, de acuerdo con estos datos, sugerir que el patrón de fracturación sísmica en la terminación oriental del Golfo de Cádiz esté, en parte, relacionado con la reactivación de fallas neógenas. Rodríguez-Vidal (1989) ha diferenciado en la evolución tectónica del sector occidental de la cuenca del Guadalquivir dos epi-

sodios de fracturación con implicaciones geodinámicas similares a las que nosotros proponemos.

Desde el Mioceno superior a la actualidad se ha producido una rotación horaria de la dirección de SH. En los materiales del Plioceno superior se ha comprobado que hay un tensor de esfuerzo con una orientación del eje SH en dirección NW-SE. Esta orientación de los esfuerzos

también ha sido detectada en el Golfo de Cádiz por otros autores a partir del estudio de mecanismos focales para terremotos recientes (Buforn y Udías, 1991; Udías y Buforn, 1993; Ribeiro et al., 1996), estando relacionada con la convergencia entre Iberia y África. Durante el Mioceno superior y Plioceno inferior se ha detectado un tensor cuyo eje SH se orienta en la dirección E-W. Esta orientación puede relacionarse con los últimos empujes en la cuenca de antepaís producidos por el cabalgamiento de Gibraltar, que se emplazó desde el E hacia el W durante el Mioceno.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido cofinanciado por el proyecto de investigación «Caracteri-

zación del Estado de Esfuerzos Reciente y Actual de la Península Ibérica» y el V Plan Propio de Investigación de la Universidad de Huelva.

#### Referencias

- Angelier, J. y Mechler, P. (1987): *Bull. Soc. Geol. France*, 7 (9), 1309-1318.
- Balanyá, J.C. y García-Dueñas, V. (1988): *II, Congr. Geol. Esp.*, Granada. Simposios, 35-44.
- Benkhelil, J. (1976): *Tesis*, Univ.(Nice).
- Buforn, E. y Udías, A. (1991): *Publ. I.G.N.*, Monografía 8, 29-40.
- Camacho, M.A. y Alonso-Chaves, F.M. (1997): *Geogaceta*, 21, 51-54.
- Comas, M.C.; García-Dueñas, V y Jurado, M.J. (1992): *Geo-Mar. Let.*, 12, 157-164.
- Pegoraro, O. (1972): *Thèse 3 cycle*, Univ. (Montpellier).
- Reches, Z. (1987): *Tectonics*, 7, 849-861.
- Ribeiro, A.; Cabral, J.; Baptista, R. y Matias, L. (1996): *Tectonics*, 15: 641-659.
- Rodríguez-Fernández, J. (1982): *Tesis*, Univ. (Granada)
- Rodríguez-Vidal, J. (1989): *AEQUA*, 1, 21-26.
- Rodríguez Vidal, J.; Gracia Prieto, F.J. y Cáceres Puro, L.M.(1998): *Investigaciones recientes de la Geomorfología española*. Gómez Ortiz, A. y Salvador Franch (Eds), 97-108.
- Sanz de Galdeano, C. (1997): *Monografías Tierras del Sur*, Univ. (Granada).
- Udías, A. y Buforn, E. (1993): *Publ. I.G.N.*, Monografía 10, 311-319.
- Viguier, C. (1974): *Thèse Doct.*, Univ. (Bordeaux)