

El despegue extensional mioceno de la zona de falla de Alhama de Murcia

W. Martínez del Olmo⁽¹⁾, J. Klimowitz⁽²⁾ y E. Hernández⁽²⁾

(1) RepsolYpf. Paseo de la Castellana, 280. 28046 Madrid
E-mail: wmartinezo@repsolypf.com

(2) GESSAL. Toronga, 21. 28043 Madrid
E-mails: juanklimowitz@gessal.com - e.hernandez@gessal.com

RESUMEN

Líneas sísmicas y pozos profundos, permiten constatar la superposición geográfica de una falla extensional de bajo ángulo y de primer orden, especialmente activa durante el Messiniense, y la falla de Alhama de Murcia, sinestrosa durante el Cuaternario. La larga traza de la falla miocena, la cantidad de extensión generada y la geometría de su bloque de techo, vienen a expresar que la Sierra de Espuña y la cuenca de Fortuna representan respectivamente los *hanging wall anticline* y *syncline* producidos por la extensión miocena. Este sistema extensivo podría estar relacionado con la cizalla de bajo ángulo que en la Sierra de Tercia jalona el contacto Maláguide-Alpujárride, pero dado que lo pliega, lo más probable es que represente una última fase del sistema o sistemas extensionales que durante el Mioceno actuaron en las Zonas Internas de la Cordillera Bética. Si extrapolamos esta geometría y cinemática, y la integramos en el mapa geológico regional y los datos bibliográficos, puede llegar a interpretarse que la actual geometría de las más significativas altas montañas de las Zonas Internas (Sierras de Espuña, de Tercia, de los Filabres y Nevada) se ha podido alcanzar de un modo semejante: extensión durante el Mioceno superior, que creó grandes antiformentes y sinformentes de bloque de techo, y una inversión estructural promovida por una contracción N-S a NNO-SSE, activa durante el Plioceno-Pleistoceno.

Palabras clave: Cordillera Bética, España meridional, Falla de Alhama de Murcia, Mioceno

The Miocene extensive system of the Alhama de Murcia fault

ABSTRACT

Subsurface data allow to check the geographic superposition of a late Miocene age, first order, extensional fault, with a hundred kilometres trace and the younger strike slip fault of the Alhama de Murcia line. The Miocene extensional system allows us to define a hanging wall anticline and syncline that respectively are the Sierra de Espuña Range and the Fortuna Basin. The Alhama de Murcia fault extensional phase could be related with the last phase of the extension system that characterised the geologic contact between the Nevado Filabride, Alpujárride and Maláguide complexes of the Internal Zone of the Betic Cordillera. The previous model help to regional geologic map allow us to interpret that the antiformal geometries of the high topographic outcrop of the Betic Internal Zone (Sierra Nevada, Sierra de los Filabres, Sierra de Tercia etc.) are the expression of two processes: 1) Upper Miocene extensional system, and 2) The Upper Pliocene-Quaternary tectonic inversion by the a N-S to NNW-SSE regional compression.

Key words: Alhama de Murcia Fault, Betic Cordillera, Eastern Betics, Miocene, southern Spain

Introducción

El sureste de España ha sido objeto de numerosos trabajos de investigación geológica realizados en los últimos veinte años. Tal interés y actividad ha derivado de atractivos motivos geológicos que están concentrados en una pequeña área con espléndidos afloramientos. Gracias a ello, no es necesaria una búsqueda bibliográfica exhaustiva para encontrar decenas de trabajos recientes que tratan las fallas activas, el registro tecto-sedimentario de las cuencas neógenas y la geometría y cinemática de las Zonas Internas de la Cordillera Bética.

A la vez, hay un hecho bastante usual, desafortunadamente todavía frecuente, y este no es otro que la no utilización de aquello que no aflora, tal y como son los datos procedentes de líneas sísmicas y pozos profundos. Este olvido o metodología, ya tenido en cuenta por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) en la programación de las últimas hojas del Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000 (MAGNA) y en la confección de un archivo público de líneas sísmicas y pozos, creemos que conduce a la pérdida de otro tipo de información que, con frecuencia, completa y ayuda a la geología de superficie. Mostrar este beneficio, es el objeto principal de este trabajo,

que trata de mostrar la superposición geográfica de la falla de Alhama de Murcia, en el sur de España, sobre una mega-falla extensional miocena que es responsable de que las Sierras de Espuña y de Tercia puedan interpretarse como un antiforame de bloque de techo.

Los datos en que sustentamos este trabajo (Fig. 1) provienen principalmente de la interpretación de viejas campañas sísmicas (años 1978, 82, 84 y 85), de los sondeos profundos, de los mapas geológicos de la serie MAGNA, recientemente revisados por el IGME, y de una búsqueda bibliográfica, si no exhaustiva, si suficientemente elocuente.

Antecedentes

Aunque sin duda y como siempre que hay afloramientos de calidad, son muchos los motivos geológicos que investigar, la mayoría de los trabajos realizados en el SE de España (Fig. 2) han tratado tres temas de interés geológico y por lo que a la previsión de

riesgos sísmicos se refiere, de elevado interés humano. Ellos pueden sintetizarse en: a) la elevada sismicidad de la región, b) la fuerte influencia de la tectónica transcurrente en la sedimentación miocena, y c) el análisis de los despegues extensionales entre los contactos Maláguide-Alpujárride y Alpujárride-Nevaldo Filábride.

a) El riesgo inherente a la alta sismicidad del área, instrumental e histórica que, atribuida a la convergencia Europa-África, se traduce en los movimientos de las fallas de Alhama de Murcia, Mula, Crevillente, Torre Vieja, Palomares y Carboneras, recogidos entre otros en Gauyau *et al.*, 1977; Bousquet, 1979; Sanz de Galdeano, 1987; Vegas *et al.*, 1987; Hernández-Enrile, 1991, 1992a y 1992b; Silva *et al.*, 1991, 1992a y 1992b; Buforn *et al.*, 1992; Calvo *et al.*, 1996; Montenat y Ott D'Estevou, 1996; Silva, 1996; Ott D'Estevou *et al.*, 1998; Sanz de Galdeano *et al.*, 1998; Castellote *et al.*, 2000; Hernández-Enrile *et al.*, 2000; Martínez Díaz, 2000; Martínez-Díaz *et al.*, 2001; Masana *et al.*, 2003; Soler *et al.*, 2003.

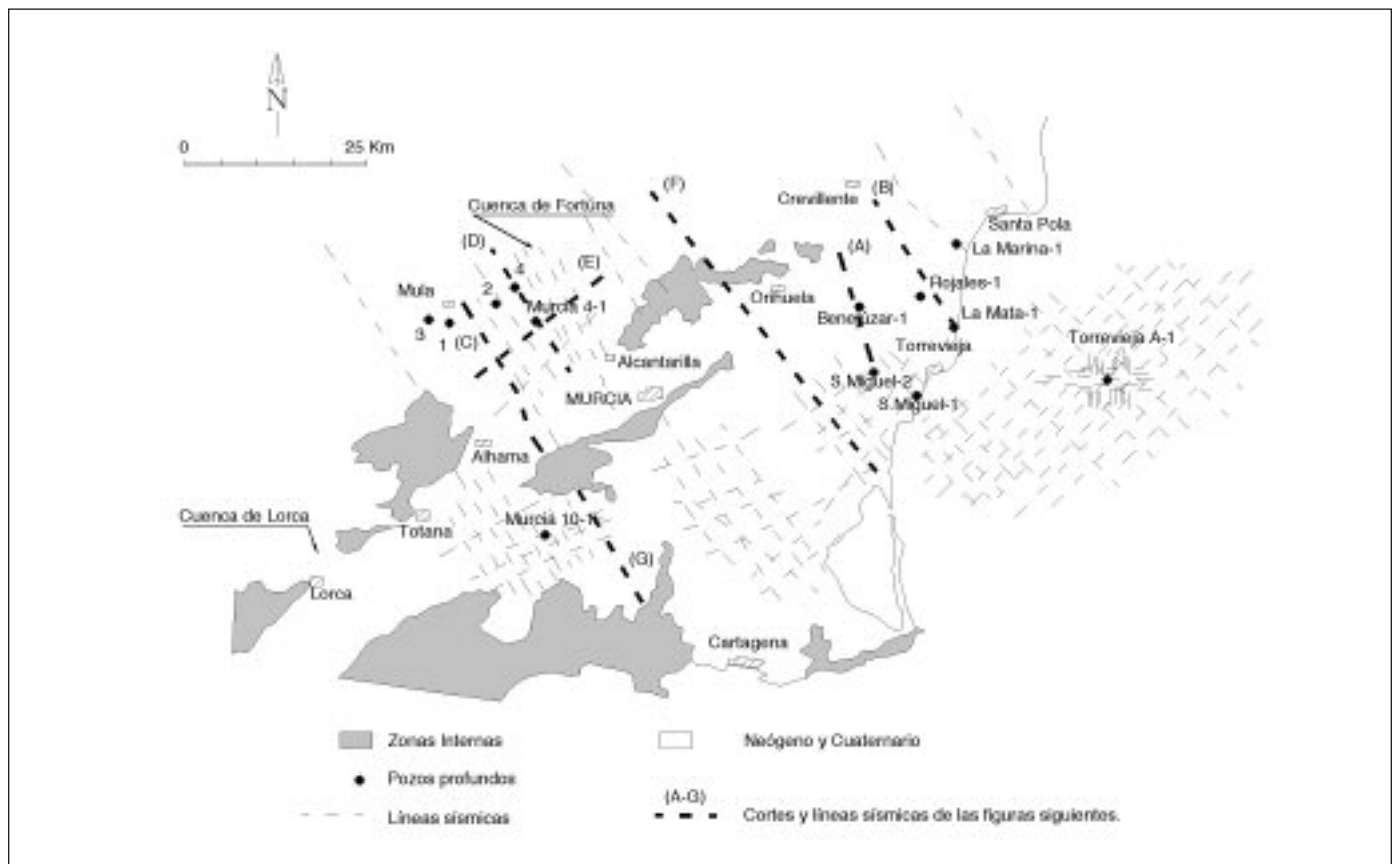


Fig. 1. Base de datos de subsuelo: líneas sísmicas y pozos, con la localización de las líneas sísmicas y los cortes geológicos de las figuras 4, 5 y 8

Fig. 1. Seismic and wells data base with the figures 4, 5 and 8

b) La distribución espacial y el registro sedimentario de las cuencas neógenas de Fortuna, de Lorca, de Vera y del Mar Menor, entre otras, que por poseer un substrato de Zonas Internas (Nevado-Filábride, Alpujárride y Maláguide) se definen como márgenes emergidos del Mar de Alborán, hecho que les confiere un nuevo atractivo. Los trabajos de Santisteban, 1981; Megías, 1985; Barragán, 1986; Montenat *et al.*, 1987; Larouzière *et al.*, 1988; Montenat y Ott d'Estevou, 1990 y 1996; Dabrio y Polo, 1991; Estévez *et al.*, 1991; Polo y Dabrio, 1991; Rodríguez Estrella *et al.*, 1992; Ortí *et al.*, 1993; Guillén Mondejar *et al.*, 1995; Sanz de Galdeano y Rodríguez-Fernández, 1996, Rodríguez Fernández y Sanz de Galdeano, 1998; Garcés *et al.*, 2000; Martínez del Olmo y Serrano Oñate, 2000; García-García *et al.*, 2000; García-García, 2004; son los más representativos de las interpretaciones más modernas.

c) Y por último, por representar el más oriental segmento aflorante del contacto Zonas Internas-Externas del orógeno Bético y porque muchos de los afloramientos de las Zonas Internas (Sierras de Tercia, de las Estancias, de Alhamilla, de Almagro, etc.) muestran las cizallas extensionales de bajo ángulo que caracterizan los contactos entre los complejos Nevado Filábride, Alpujárride y Maláguide, así como por tratar del ascenso a la superficie de las Zonas Internas, podemos encontrar otro nutrido grupo de trabajos que dedican su atención a la cinemática de estas Zonas Internas. Entre otros, los de García-Dueñas y Martínez-Martínez, 1988; Galindo-Zaldívar *et al.*, 1989 y 1993; García-Dueñas y Balanyá, 1991; Comas *et al.*, 1992; Jabaloy *et al.*, 1992 y 1993; Zeck *et al.*, 1992; Lonergan y Platt, 1995; Johnson *et al.*, Booth-Rea y García-Dueñas, 1999; Booth-Rea *et al.*, 2002 y 2003; Martínez-Martínez *et al.*, 2002; Fernández-Fernández *et al.*, 2004; Orozco y Platt, 2004, y Platt, 2005.

Si se obvian pequeños matices, el primer grupo de trabajos es prácticamente unánime en caracterizar la falla de Alhama de Murcia como una falla de desgarre sinestrosa, activa durante el Cuaternario. Con respecto a la cinemática miocena hemos encontrado muy pocos trabajos que describan una etapa extensiva anterior al unánime y reciente episodio contractivo. Por la importancia que más tarde atribuiremos a esta fase extensional miocena, dedicamos unas líneas a las conclusiones de los trabajos, más modernos, que tratan esta etapa distensiva. Así, en la propia zona de falla de Alhama de Murcia, Martínez-Díaz y Hernández-Enrile (1992a) interpretan que podría distinguirse una cizalla dextral pre-Tortonense, un movimiento extensivo N-S durante el Serravalliense-

Tortonense y una compleja etapa compresiva desde el Tortonense al Cuaternario. De otra parte, Hernández-Enrile *et al.* (2000) también indican que en el sector Lorca-Totana donde la zona de falla muestra dos trazas, la llamada Lorca norte, que constituye el borde oriental de la sierra de Tercia, buza hacia el NO, mientras que la rama llamada Lorca sur, lo hace hacia el SE; datos que introducen una mayor complejidad a la falla de Alhama y una primera referencia a un plano de falla buzando al norte. También y aunque ahora sea para el mar de Alborán, Comas *et al.* (1992) interpretan que el adelgazamiento del Dominio cortical se realizó en una fase Aquitaniense-Burdigaliense que fue seguida de una etapa de *rifting* del Mioceno medio-Tortonense inferior de dirección NE-SO, oblicua al mar de Alborán, y que finalmente puede interpretarse una generalizada contracción N-S iniciada en el Tortonense. Igualmente indican que las estructuras de *rifting* están relacionadas con los sistemas de despegue extensional y fallas de bajo ángulo reconocidas en las Zonas Internas Béticas.

El segundo grupo de trabajos es unánime en considerar que el área representa un margen emergido del mar de Alborán, un límite de placas (Vegas *et al.*, 1987; Buforn *et al.*, 1992) y que el registro sedimentario de las cuencas neógenas estuvo fuertemente influenciado por su funcionamiento como cuencas bajo régimen transcurrente; régimen Trans-Alborán de Larouzière *et al.* (1988) que generó fallas de desgarre, cabalgamientos y pequeñas cuencas distensivas tipo *pull-apart*. En este contexto Montenat y Ott d'Estevou (1996) interpretan un vector de compresión NO-SE durante el Tortonense que ocasionó intensa deformación "*folding and wrenching*", una compresión N-S durante el Messiniense que produjo especialmente "*free-sliding wrench*" y desaceleró la creación de pliegues y áreas altas, y finalmente, en el Cuaternario, una nueva compresión NO-SE con la reactivación de una nueva fase de pliegues y desgarres. De otra parte, Sanz de Galdeano y Rodríguez-Fernández, (1996) describen bajo un régimen contractivo N-S, un importante *uplift* en el área de contacto entre las zonas Internas y Externas de la Cordillera Bética (vg. cuencas de Fortuna y Lorca, objeto de este trabajo), a la vez que interpretan que la mayor parte de los actuales afloramientos de las Zonas Internas eran altos emergidos desde el Langhiense. También y ahora para la falla de Crevillente, Estévez *et al.* (1991) proponen un vector de compresión N-S que generaría discordancias progresivas desde el Tortonense al Plioceno. En resumen, un numeroso grupo de trabajos que entiende que la sedimentación miocena estuvo controlada por regímenes transcurrentes o cuencas tipo *pull apart*.

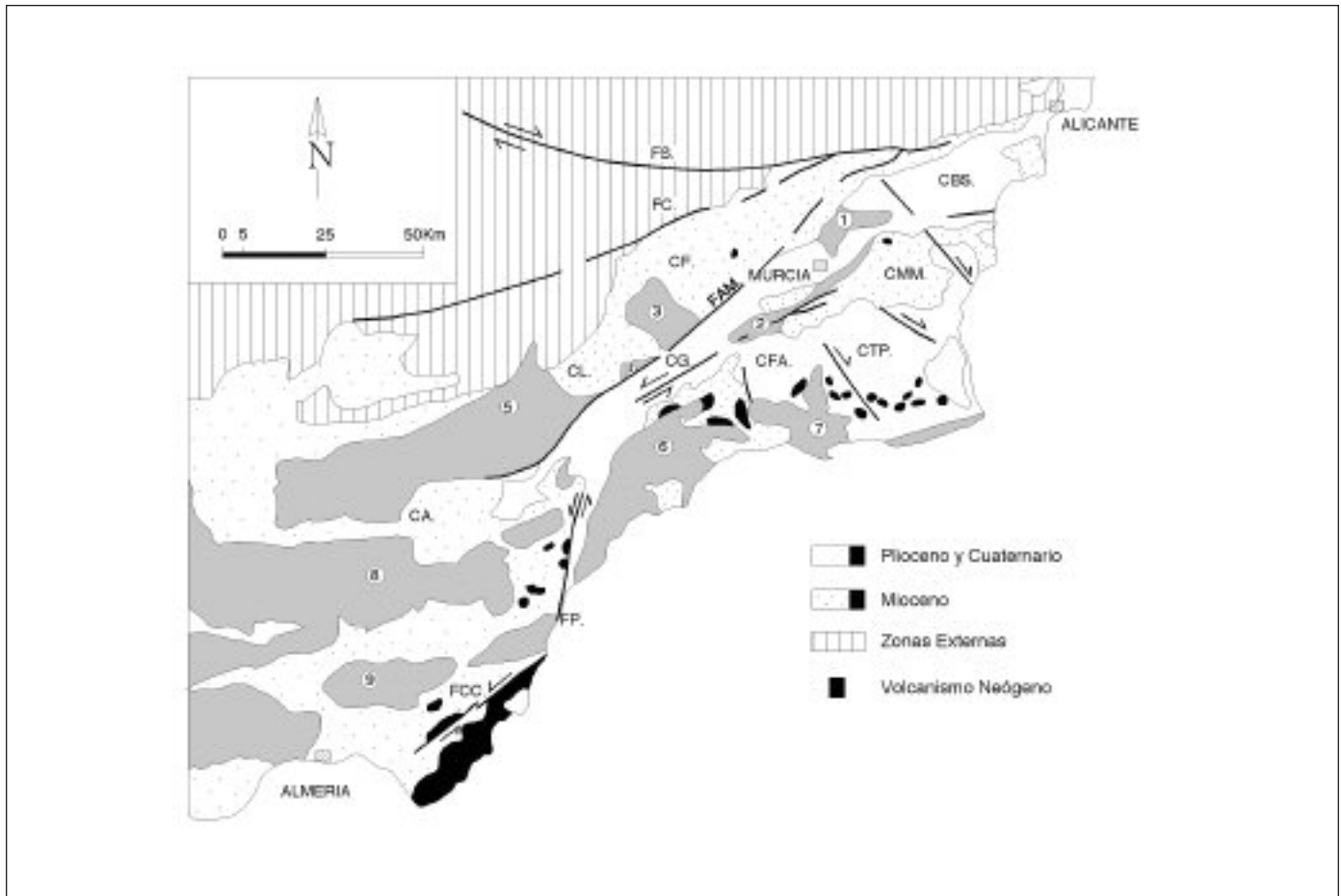


Fig. 2. Mapa de localización con la posición y cinemática de las fallas principales, tomado de *Geología de España* (2004): 1 a 9: Sierras de: Orihuela, Carrascoy, Espuña, Tercia, Las Estancias, Almenara, Cartagena, Filabres y Alhamilla. (F) Fallas de: S-Socovos. C-Crevillente. AM-Alhama de Murcia. P-Palomares. CC-Carboneras. (C) Cuencas de: BS-Bajo Segura. F-Fortuna. L-Lorca. G-Del Guadalentín. MM-Mar Menor. TP-Torrepacheco. T-Totana y A-Del Almanzora

Fig. 2. Main fault map from *Geología de España* (2004): (Ranges): 1-Orihuela. 2-Carrascoy. 3-Espuña. 4-Tercia. 5-Estancias. 6-Almenara. 7-Cartagena. 8-Filabres and 9-Alhamilla. (Main faults): FS. Socovos. FC. Crevillente. FAM: Alhama de Murcia. FP. Palomares. FCC. Carboneras. (Subbasins): BS-Bajo Segura. F-Fortuna. L-Lorca. G-Guadalentín. MM-Mar Menor. TP-Torrepacheco. T-Totana and A-Almanzora

Como contrapartida a esta fuerte influencia de la tectónica en la sedimentación, Martínez del Olmo y Serrano Oñate (2000) describen un registro litoestratigráfico que estuvo regido por cambios eustáticos reconocidos en diferentes contextos tectónicos en todo el ámbito del Mediterráneo occidental.

El tercer grupo de trabajos es prácticamente unánime en reconocer que el despegue extensional, inicialmente descrito en Sierra Nevada entre Nevado-Filábride y Alpujárride (García-Dueñas *et al.*, 1986; García-Dueñas, y Martínez-Martínez, 1988; García-Dueñas y Balanyá, 1991) se repite en los numerosos afloramientos que la región ofrece, ya sea entre ambos complejos o entre Alpujárride y Maláguide, casos de las Sierras de Espuña, de Tercia, de las Estancias, de Alhamilla y de Almenara.

Por lo que puede representar en la interpretación que tratamos de exponer, son interesantes los datos aportados por Booth-Rea y García-Dueñas (1999) en la Sierra de Tercia, por Booth-Rea *et al.* (2003) en la Sierra de Almagro, y por Fernández-Fernández *et al.*, (2004), en el corredor de Vélez Rubio de la Sierra de las Estancias. En el primero de los trabajos se distinguen dos sistemas de fallas extensivas de bajo ángulo con direcciones transversales y con transporte predominante hacia el N-NO para la generación más antigua y hacia el O-SO para la más moderna. En el segundo, además de reconocer las dos fases y direcciones de transporte anteriores, se describe el ascenso a superficie de las Zonas Internas mediante antiformes E-O formados durante el Tortoniense superior-Cuaternario. En el tercero de los trabajos anteriores, el

bloque de techo, representado por el Maláguide, habría deslizado hacia el E-SE. Si a ello unimos otros muchos datos de los sectores más occidentales de las Zonas Internas: Sierra Nevada, Sierra Bermeja etc, resulta evidente o quizás probable, que estos despegues extensionales no se caracterizaron por una única dirección de transporte de los bloques de techo, y ello posiblemente por su carácter polifásico o por rotaciones tardías, difíciles de reconocer y restituir.

De igual modo, parece no haber duda de que estos despegues (Booth-Rea *et al.*, 2003; Booth-Rea y García-Dueñas, 1999; Galindo-Zaldívar *et al.*, 1989, 1993 y 1996; García-Dueñas y Martínez-Martínez, 1988; Fernández-Fernández *et al.*, 2004; Jabaloy *et al.*, 1993) son de edad miocena y que si a los segmentos aflorantes les incorporamos los datos del Mar de Alborán (Comas *et al.*, 1992; Jabaloy *et al.*, 1992; Díaz Merino *et al.*, 2003) se alcanza a concluir que durante el Mioceno, las Zonas Internas, que constituyen el

substrato de las cuencas neógenas del SE de España, se caracterizaron por haber estado sometidas a una fase extensiva que alcanzó a producir un notable adelgazamiento cortical.

Datos regionales

Dado el propósito de este trabajo no creemos necesario la descripción y uso de una columna litoestratigráfica de detalle, entre otras cosas porque los numerosos cambios de facies provocados por el pequeño tamaño de las subcuencas miocenas y la diferenciación y proximidad de umbrales y surcos, harían muy prolija su descripción. Por ello, utilizaremos la representada en la figura 3, esquema al que hemos referido todos los cortes estructurales y líneas sísmicas que presentamos. De una tal simplificación sólo merece la pena comentar los siguientes puntos: a) En

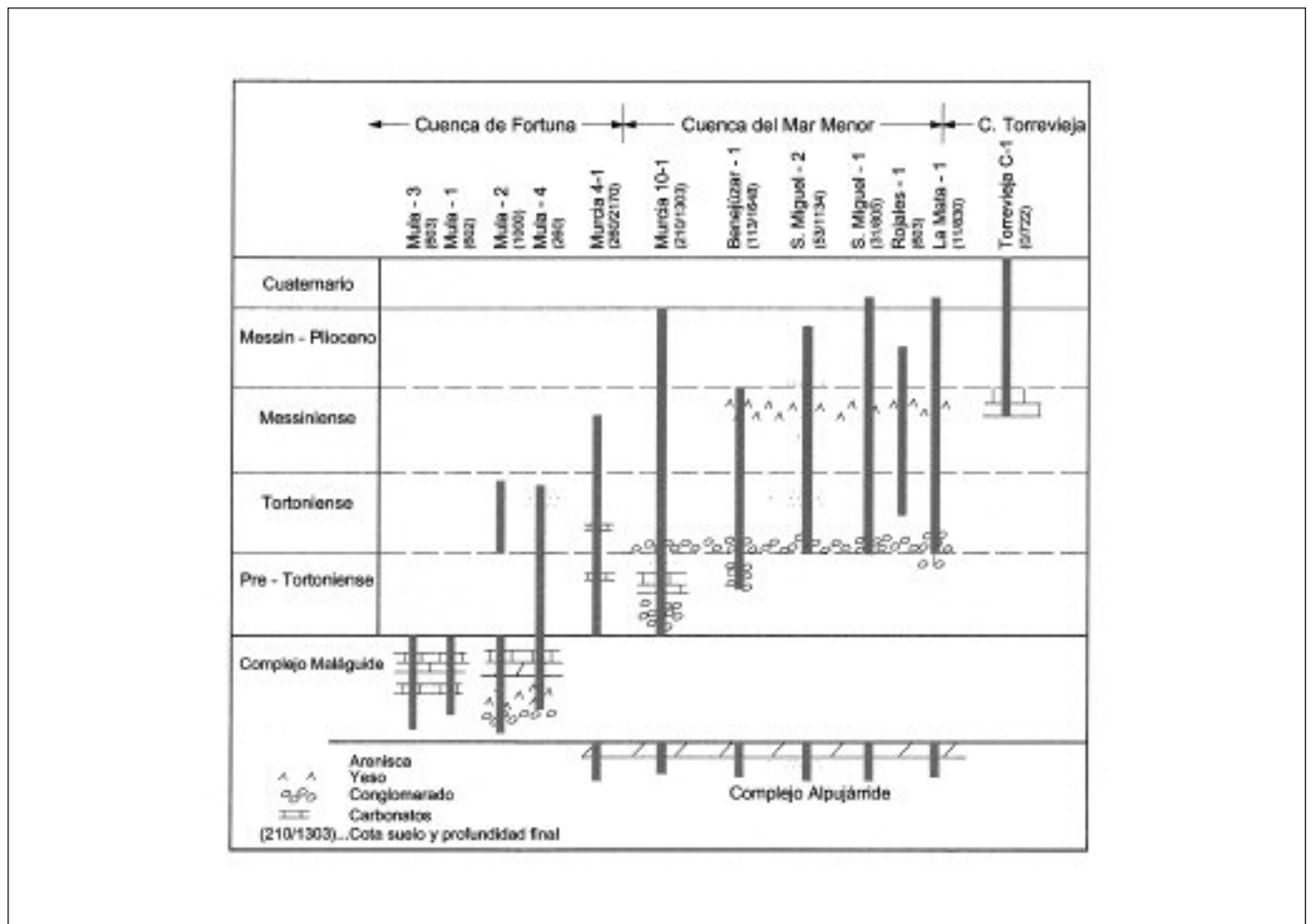


Fig. 3. Litoestratigrafía reconocida por los pozos profundos
Fig. 3. Deep wells lithostratigraphic record

los informes de pozo y en ausencia de otro tipo de análisis, las facies detríticas rojas del Alpujárride y del Maláguide no son fáciles de segregar, por lo que la atribución que de ellas hacemos a uno u otro complejo debe ser tomada como una aproximación. b) El primer sedimento mioceno contrastado por datos bioestratigráficos de los sondeos profundos del Mar de Alborán y de su margen emergido, es Langhiense, aunque probablemente incluya el Burdigaliense superior. Comentario que es extensivo a las cuencas de Lorca y Fortuna, y que parecen confirmar las recientes revisiones realizadas por GESSAL para el IGME en pozos y afloramientos de la cuenca de Fortuna. c) Esa indeterminación y la ausencia de datos precisos para diferenciar Serravalliense de Tortoniense inferior en la mayor parte de los sondeos, nos ha llevado a indicar dos conjuntos: Pre-Tortoniense y Tortoniense. Ambos son marinos e incluyen tanto los deltas conglomeráticos y turbiditas, como carbonatos templados y facies detríticas finas y someras. d) El Messiniense es fundamentalmente arcilloso y culmina en evaporitas. e) La discontinuidad intra-Messiniense da paso a un variado complejo de facies del Messiniense superior que se uniformiza por encima de la transgresión pliocena.

Si tratamos de ahondar en las interpretaciones recogidas en el segundo y tercer grupos de los trabajos anteriores: compresión o extensión, o compresión NO-SE y extensión SO-NE, o ambas a la vez y por sectores y durante el Mioceno, nos vemos obligados a introducir nuevos criterios y datos tales como:

a) Los mapas geológicos del SE peninsular y las imágenes provistas por las líneas sísmicas y los cortes construidos con el concurso del mapa geológico y de las líneas sísmicas (Figs. 4 y 5), muestran que la deformación-estructuración más evidente es post-Plioceno: antifórmas de Carrascoy, Hurchillo, Benejúzar, Rojasles, La Marina y los cabalgamientos ciegos de Torrevieja, San Miguel de Salinas y de la Sierra de Cartagena. Deformación que puede entenderse como lo representado en la figura 6: rampas laterales coincidentes con fallas activas durante el Cuaternario (Carboneras, Palomares, Carrascoy y Alhama de Murcia) y rampas frontales que promueven flexuras, antifórmas, cabalgamientos ciegos y surcos sedimentarios frontales; deformación activa en un tiempo post-Plioceno y bajo un vector de compresión NNO-SSE a N-S.

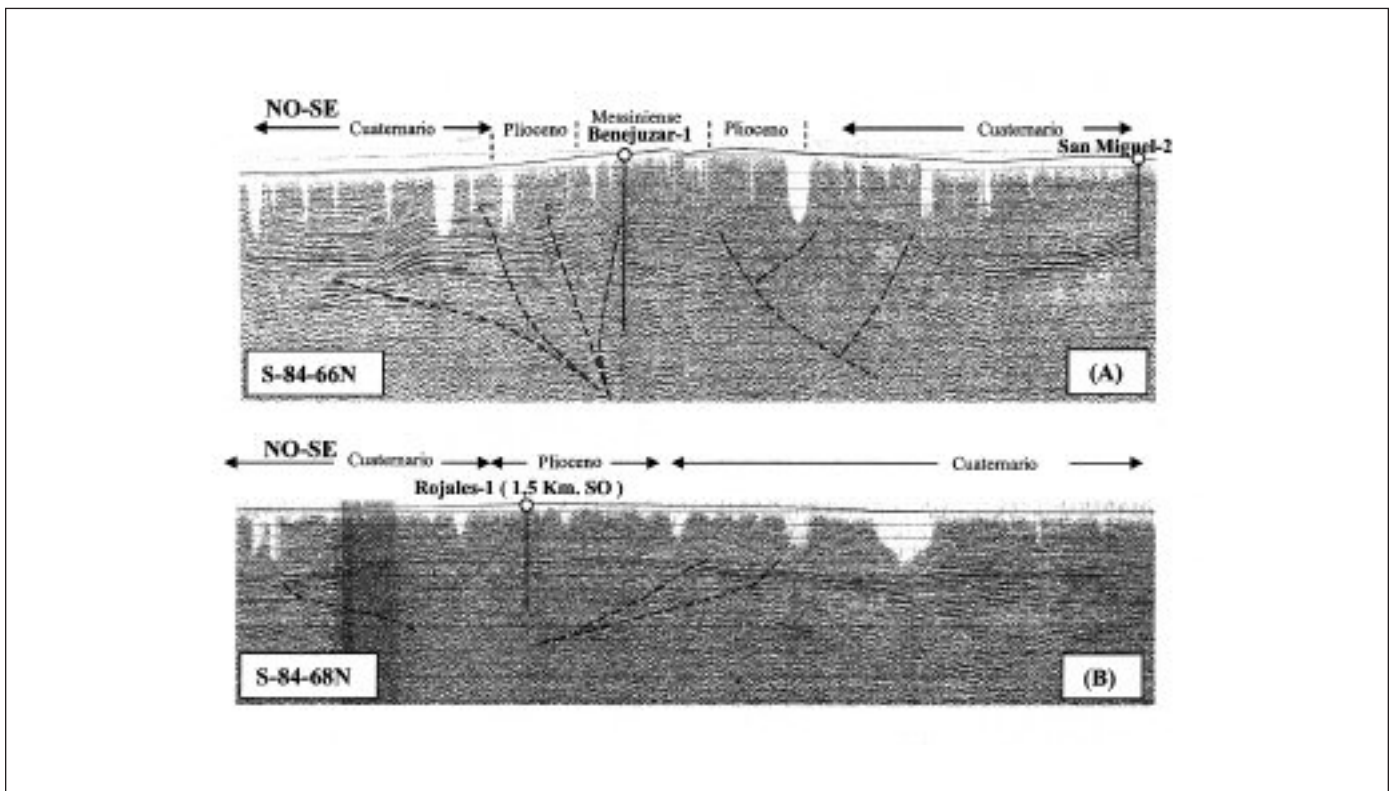


Fig. 4. Imágenes sísmicas mostrando la compresión post-Plioceno. Líneas sísmicas A y B de la figura 1
Fig. 4. Post-Pliocene contraction seismic examples. (A and B seismic lines located in figure 1)

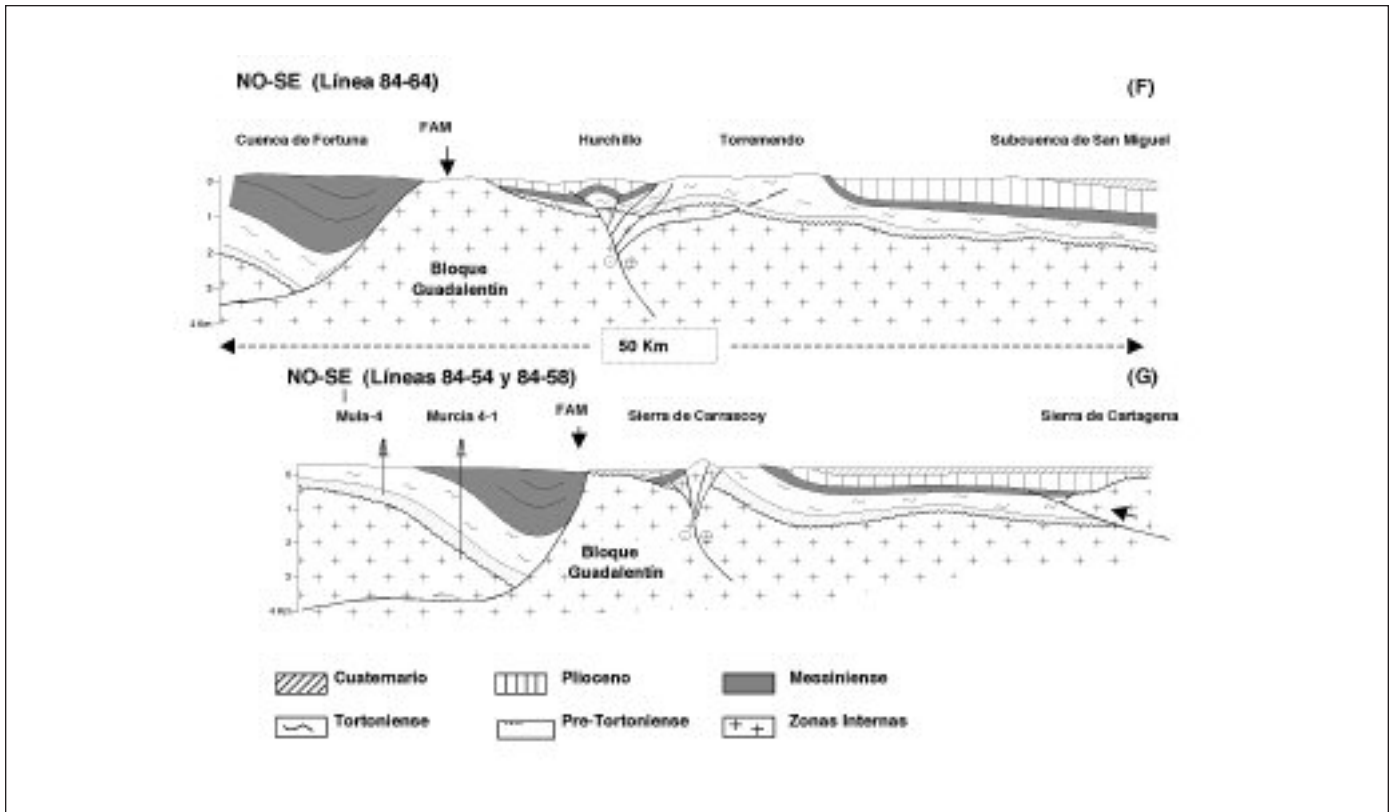


Fig. 5. Cortes geológicos sobre las líneas sísmicas F y G (ver figura 1). Nótese: la expresión del bloque alto del Guadalupe delimitando los surcos sedimentarios miocenos de Fortuna y Torremendo, la reactivación tardía de su límite meridional o Sierra de Carrascoy como estructura en flor, el cabalgamiento ciego de la Sierra de Cartagena y la geometría de la falla extensional a la que se superpone la falla de Alhama de Murcia

Fig. 5. Cross sections from seismic lines F and G (see figure 1). Showing: The Fortuna-Torremendo Miocene trough, the Carrascoy range flower inversion, the Cartagena blind thrust and the geometry of the Alhama de Murcia fault zone

Este modelo puede ser exportado a las cuencas de Sorbas y Almería donde una estructuración posterior a la discontinuidad Messiniense 2-Plioceno 1 (Megías, 1985) sería la responsable de su configuración actual, y donde Booth-Rea *et al.* (2003) describen el importante y último episodio ascensional de las Zonas Internas como de edad Tortonense superior-Cuaternario. Un proceso semejante o idéntico es también descrito en Sierra Nevada y Sierra de los Filabres por Martínez-Martínez *et al.* (2002), y finalmente, una idea de la alta velocidad del mismo puede obtenerse del trabajo de Zeck *et al.*, 1992; Johnson *et al.*, 1997; Orozco y Plat, 2004 y Plat, 2005.

Demostrar que esta contracción NNO-SSE a N-S haya actuado durante el Mioceno (Montenat *et al.* 1987; Larouzière *et al.* 1988) no es nada fácil, pues la extensión u otro vector de compresión, también producen deformación interna a los sedimentos miocenos. De hecho, muchas de las anomalías que en la sedimentación miocena tal com-

presión habría producido (sismitas), también han sido interpretados (Megías, 1985; Barragán, 1986; Martínez del Olmo y Serrano Oñate, 2000) ya sea como brechas, olistostromas, depósitos en masa o rellenos de valles incisos, producidos por el descenso eustático intra-Messiniense.

- b) Cuando a escala regional se revisan las cuencas neógenas del Mediterráneo, desde Algeciras al cabo de La Nao, es realmente difícil encontrar imágenes sísmicas que puedan ser relacionadas con una significativa tectónica compresiva pre-pliocena. Del mismo modo, es evidente que los más notables depocentros pre-pliocenos, relacionados con sistemas de fallas extensivas, muestran que estas desaceleraron su actividad desde lo más interno a lo más externo del arco de Gibraltar: más de 5-6.000 metros de espesor en la marina subcuenca de Málaga, 2-3.000 en la de Motril y menos de 1.500 en las subcuencas de Almería y Cartagena, proceso que culmina en la subcuenca del Bajo Segura-Torre vieja, donde la secuencia

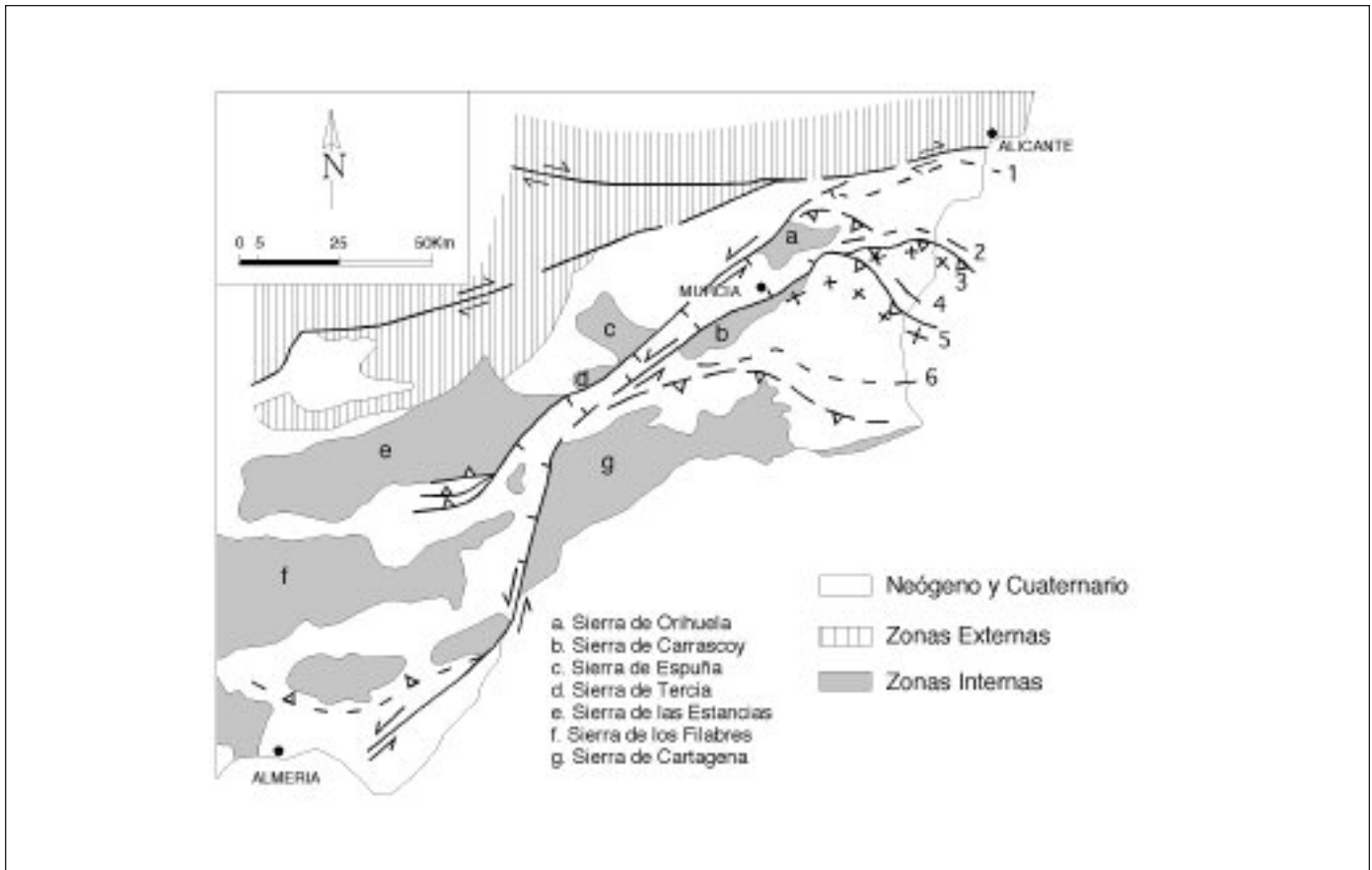


Fig. 6. Esquema estructural de la deformación Plioceno-Cuaternario bajo un vector de compresión N-S a NNO-SSE: 1/ Subcuenca del Bajo Segura. 2/ Sinforme de Torrevieja. 3/ Antiformas de Hurchillo-Benejuzar-Rojales y cabalgamiento ciego de Torrevieja. 4/ Surco de San Miguel de Salinas. 5/ Pliegue y cabalgamiento ciego de la flexura de San Miguel de Salinas. 6/ Sinformes de Totana-Torrepacheco y cabalgamiento ciego de las Sierras de Cartagena

Fig. 6. Structural scheme of the N-S to NNW-SSE Pliocene-Pleistocene tectonic contraction: 1/ Bajo Segura subbasin. 2/ Torrevieja syncline. 3/ Hurchillo-Benejuzar-Rojales anticlines and Torrevieja blind thrust. 4/ San Miguel de Salinas flexure and blind thrust. 5/ San Miguel de Salinas flexure and blind thrust. 6/ Totana-Torrepacheco basins and Cartagena blind thrust

pre-pliocena no supera los 500 m de sedimentos, casi exclusivamente constituidos por carbonatos templados.

Para complicar las cosas, es igualmente visible que accidentes tectónicos de dirección SO-NE y con actividad reciente, pues cortan a los sedimentos plio-cuaternarios y que no están relacionados con depocentros pre-pliocenos (vg. cresta de Alborán, escarpes de los cabos de Gata y Palos) son tan visibles y llamativos, como otros, de idéntica dirección, que sí están relacionados con depocentros pre-pliocenos (Vg. fallas de Alhama de Murcia y de Carrascoy) y sus anexas cuencas de Lorca, Fortuna y del Mar Menor.

Estas observaciones a escala regional, indican que, para una misma dirección estructural encontramos accidentes activos en el Mioceno (depocentros) o activos en el Plioceno-Cuaternario (desga-

res), lo que parece evidenciar una reactivación con cambio de cinemática que no puede ser explicada por la simple cuestión de su dirección estructural. Este conjunto de datos, y muy especialmente el *detachment* extensional de las Zonas Internas, que no puede ser justificado por un sistema tipo transcurrente, pone en evidencia que la extensión miocena, como parece lógico, fue mucho más creadora de cuencas que la tardía compresión-transcurrencia, cuyo papel más llamativo es la actual topografía, los accidentes de desgarre y la elevación de las Zonas Internas. Y para mostrar esto y las implicaciones regionales sobre el probable mecanismo de elevación de algunos o muchos de los afloramientos de los complejos Nevado-Filábrides, Alpujárrides y Maláguides, hemos elegido la zona de la falla de Alhama de Murcia y su relación con la cuenca de Fortuna y la Sierra de Espuña.

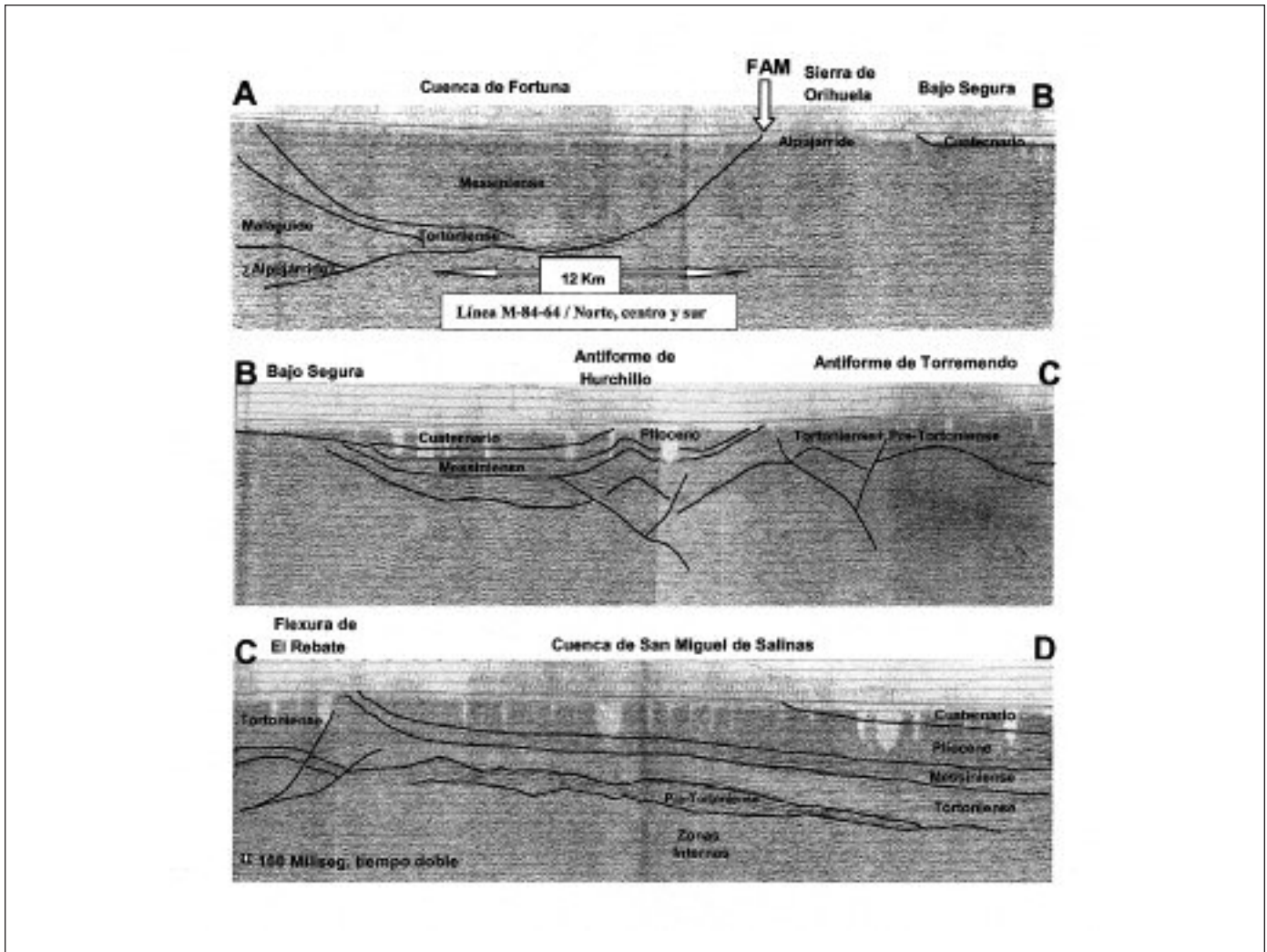


Fig. 7. Línea sísmica cruzando desde el norte de la cuenca de Fortuna hasta la orilla del Mediterráneo
 Fig. 7. Regional seismic line crossing Fortuna basin to Mediterranean sea

La zona de falla de Alhama de Murcia

La vieja exploración de hidrocarburos permite la utilización de numerosas líneas sísmicas que cruzan desde la costa del Mar Menor hasta la cuenca de Mula (campañas de los años 1978, 82, 84 y 85, de libre disposición en el Servicio de Hidrocarburos del Ministerio de Economía y en el IGME). Esta información sísmica puede completarse con la provista por los pozos de exploración geotérmica Mula 1 a 4, y especialmente por el más meridional Murcia 4-1, sondeo que buscaba hidrocarburos en la línea con mayores espesores miocenos (Fig. 1) de la cuenca de Fortuna.

Lo atractivo de este paquete de información es que permite visualizar una transversal (Fig. 7) que cruza la cuenca del Mar Menor, la Sierra de Carrascos,

la depresión del Guadalentín, la zona de falla de Alhama de Murcia y la cuenca de Fortuna, y a esa transversal se le pueden introducir datos lito-cronoestratigráficos provistos por pozos y mapas geológicos de superficie.

Las imágenes sísmicas y los cortes geológicos construidos desde su información (Figs. 5, 7 y 8) no dejan lugar a dudas de que la actual zona de falla de Alhama de Murcia, sinestrosa inversa durante el Cuaternario, viene a coincidir, casualidad o reactivación, con una mega-falla extensional de bajo ángulo. Su bloque de techo, que hunde al oeste y es coincidente con la cuenca de Fortuna, diferencia un surco que alberga el mayor espesor sedimentario del Mioceno de toda la región. Si para el Mioceno ya es un dato en sí mismo notable, este es mucho más llamativo cuando para el Messiniense puede constatar-

se (controles del sondeo Murcia 4-1) que el espesor de su registro sedimentario, incompleto por comenzar en superficie, supera los 2.500 m; lo que representa de cinco a ocho veces los espesores sedimentarios del Messiniense en las otras subcuencas del área. El bloque de muro de esta falla miocena de Alhama de Murcia, que está en continuidad con los afloramientos del Alpujárride de la Sierra de Orihuela, alberga desde mínimos a nulos espesores de Mioceno y marca una notable inversión topográfica, ya que constituye la depresión del Río Guadalentín. Depresión o corredor que en su margen oriental se interrumpe bruscamente por las altas

estribaciones de la Sierra de Carrascoy. Así que de nuevo volvemos a encontrar una notable inversión morfológica-sedimentaria; una alta topografía que coincide con notables espesores sedimentarios miocenos que cubren un substrato constituido por las Zonas Internas.

Esas simples observaciones, bloques móviles o de techo diferenciando surcos sedimentarios y bloques de muro prácticamente desprovistos de sedimentos y con neta topografía deprimida, expresan ya una historia no simple, probable cambio de cinemática, de las fallas de Alhama de Murcia y de Carrascoy que enmarcan la depresión del Río Guadalentín.

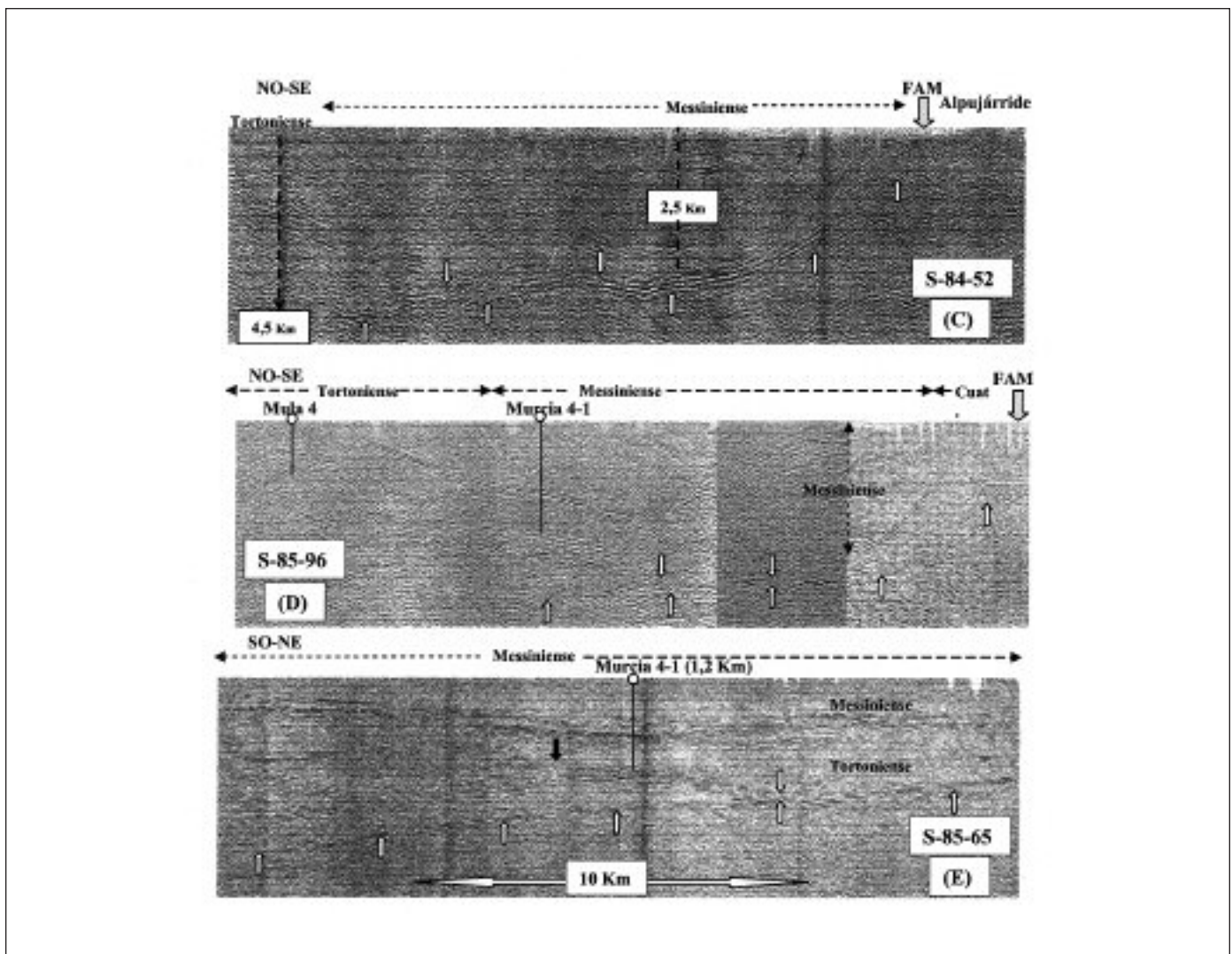


Fig. 8. Líneas sísmicas C, D y F (ver figura 1) perpendiculares y paralelas a la zona de falla de Alhama de Murcia. Las flechas hacia abajo marcan la extensión al Tortoniano y al Alpujárride-Maláguide. Las flechas hacia arriba indican el trazo de la falla extensional. La flecha en negro de la línea E, señala un posible contacto Maláguide-Alpujárride
 Fig. 8. Seismic lines C, D and E (see figure 1). Arrows pointing down show the Tortonian (1) and Alpujarride-Malaguide extension. (2) Arrows pointing up show the Alhama de Murcia deep fault trace. The black arrow (E line) show a probable folded extensional contact between the Alpujarride and Malaguide complexes

Son muchas las líneas sísmicas que cruzan la traza de la falla de Alhama de Murcia (Figs. 7 y 8) y la interpretación de sus imágenes, la velocidad sísmica de los paquetes de sedimentos y los controles de sondeo de su bloque de techo, permiten deducir:

- 1) Que la falla que diferenció el surco sedimentario conocido como cuenca de Fortuna, es una falla que pasa de alto a bajo ángulo, que alcanza hasta una profundidad mínima, pérdida de definición sísmica, aproximada a los 4,5 km. y que produce una notable cantidad de extensión que, para al nivel del Alpujárride-Maláguide, varía de sur a norte entre los 14 y los 23 km.
- 2) Que en un modelo simple de extensión por falla de tipo lístrico o de crecimiento, puede diferenciarse:
 - a) un sinforme o *extensive hanging wall syncline* de dirección SO-NE, cuenca de Fortuna, relleno de sedimentos pre-pliocenos. La geometría y espesor (> de 2.500 m) del depocentro Messiniense, controlado por geología de superficie y pozo, ponen de manifiesto que en este tiempo la falla fue especialmente activa; b) un antiforme o *extensive hanging wall anticline* cuyo núcleo principal, controlado por el pozo Murcia 4-1 y por los pozos de investigación geotérmica de Mula, se corresponde con los complejos Alpujárride y Maláguide de las sierras de Espuña y Tercia, cubiertos por un Mioceno pre-Messiniense que no muestra un crecimiento de espesores hacia el plano de falla, tan significativo como el del Messiniense.
- 3) Que si las líneas sísmicas alcanzan a diferenciar el contacto entre Alpujárride y Maláguide (interpretación de la figura 8/E), el despegue extensional entre estos complejos estaría plegado e integrado en el *hanging wall anticline* producido por la extensión miocena.

Junto a estas significativas geometrías, la ausencia de información sísmica sobre la más meridional cuenca de Lorca (Fig. 1) y la mala calidad de la respuesta sísmica en niveles próximos a la superficie, plantea cuatro temas de interés: a) la localización del borde NO del bloque de muro de la gran falla; b) la continuidad y traza de la falla al sur de la Sierra de Espuña; c) su relación o no con la cizalla extensional que caracteriza los contactos entre Alpujárride y Maláguide en la Sierra de las Estancias; d) y si la aparente superposición de la zona de falla de Alhama de Murcia es producto de una casualidad o de una reactivación con cambio de cinemática.

El primero de ellos parece fácil de resolver, pues tanto la traza superficial de la falla en los mapas de posición de las líneas sísmicas, como el hecho de que la depresión del Guadalentín y su prolongación, caractericen un largo corredor con escasa o nula sedi-

mentación miocena, vienen a indicar que este corredor, del que forman parte los afloramientos del Alpujárride de las sierras de Orihuela, constituye el bloque de muro.

La ausencia de líneas sísmicas que crucen la cuenca de Lorca nos obliga a buscar datos de superficie para tratar de dar una respuesta al segundo de los problemas planteados. Una breve descripción de estos puede ser expresada en: a) geometría sinclinal de la cuenca de Lorca, semejante a la de Fortuna, con más de 2.200 m (Pérez Lorente *et al.* 1992) de sedimentos miocenos medidos en superficie; b) continuidad hacia el sur de la zona con nula o mínima sedimentación miocena, corredor del Guadalentín, que caracteriza el bloque de muro; c) práctica continuidad entre los afloramientos de las Zonas Internas de las Sierras de Espuña y de Tercia, ambos correspondientes al *hanging wall anticline*; d) traza cóncava hacia el norte (Fig. 9) de la falla normal que pone en contacto la terminación NE de la Sierra de las Estancias y la cuenca miocena de Lorca.

Estos datos parecen suficientes para interpretar que este último accidente puede representar la salida a superficie de una de las posibles ramas de falla asociadas al sistema extensivo del Mioceno de la línea de falla de Alhama de Murcia.

La respuesta al tercer problema planteado, la relación o independencia entre este sistema y el de cizalla que jalona los contactos entre Alpujárride y Maláguide, no es nada fácil de establecer, pero podemos agregar que, dado que el *detachment* Alpujárride-Maláguide de las Sierras de Espuña y de Tercia está plegado en un antiforme de bloque de techo (Fig. 8/E), no nos queda más remedio que aceptar que: a) el sistema tuvo un funcionamiento polifásico como el propuesto por Booth y García-Dueñas (1999) en la Sierra de Tercia, primero hacia el N-NO y después hacia el SO; b) que el sistema fue tan complejo y ha sufrido rotaciones posteriores que en la próxima Sierra de las Estancias, Fernández-Fernández *et al.* (2004) describen que el bloque de techo movió hacia el E-ESE, y c) que esta falla miocena es netamente posterior a las cizallas extensionales de las Zonas Internas. Esta última posibilidad llevaría la traza extensional hasta el corredor del Río Almanzora, arco E-O cóncavo hacia el norte, de dirección semejante a la que termina con la cuenca de Lorca.

Para el cuarto problema, el de la reactivación de una precedente zona de debilidad o de una casualidad para que se produzca la superposición geográfica de las dos fallas, la extensiva y la de desgarre, no es nada fácil encontrar argumentos en uno u otro sentido, pero nos inclinamos por la reactivación basa-

dos en: a) la larga superposición geográfica (> de 100 a.m.) de ambas líneas de falla; b) la evidente reactivación de otros accidentes (vg. falla de Carrascoy) de idéntica dirección; c) y porque bajo un vector de compresión NNO-SSE a N-S, los segmentos de orientación E-O, como el corredor del Río Almanzora, serían reactivados como rampas frontales, mientras que los de dirección NO-SE se corresponderían con las rampas laterales de cinemática sinistral (Fig. 9).

Este esquema estructural asigna al corredor del Río Guadalentín un papel pasivo o de bloque alto, con mínima o nula sedimentación, que estuvo limitado por las fallas extensionales miocenas que, una vez reactivadas, se conocen como fallas de Alhama de Murcia y de Carrascoy. A juzgar por los sedimentos a ellas asociados, conglomerados de Lorca con direcciones de paleocorrientes hacia el oeste (Martínez Díaz y Hernández-Henrile 1991), y los *fan deltas* de la sierra de Carrascoy con paleocorrientes hacia el este (Dabrio y Polo, 1991) y por la presencia de cantos procedentes de las Zonas Internas, el bloque sufrió una intensa erosión durante el Serravalliense-Tortonense y el Messiniense.

Con este esquema estructural, no vemos como poder incluir las cuencas miocenas de esta región en el tantas veces referido tipo *pull apart*, pues el régimen transcurrente que tal definición implica fue, fundamentalmente, post-Mioceno.

Si únicamente nos quedamos con la geometría más evidente y contrastada por las líneas sísmicas, aquella que hace de la Sierra de Espuña un antiforame de bloque de techo, merced a un despegue extensional muy activo durante el Messiniense, podemos preguntarnos si es este el mecanismo que provocó el ascenso estructural y las antiforamas de gran radio de algunos o muchos de los afloramientos de las Zonas Internas, expresado recientemente como *orthogonal folding of extensional detachments* (Martínez-Martínez *et al.*, 2002) para Sierra Nevada y descrito para el tiempo Tortonense-Cuaternario en la Sierra de Almagro (Booth-Rea *et al.*, 2003). A este respecto, podemos teorizar que bajo el régimen extensivo, los corredores miocenos de dirección E-O, paralela a la del corredor del Río Almanzora, independizaron bloques de muro y de techo del último, puesto que pliega a los *detachment* precedentes, episodio extensio-

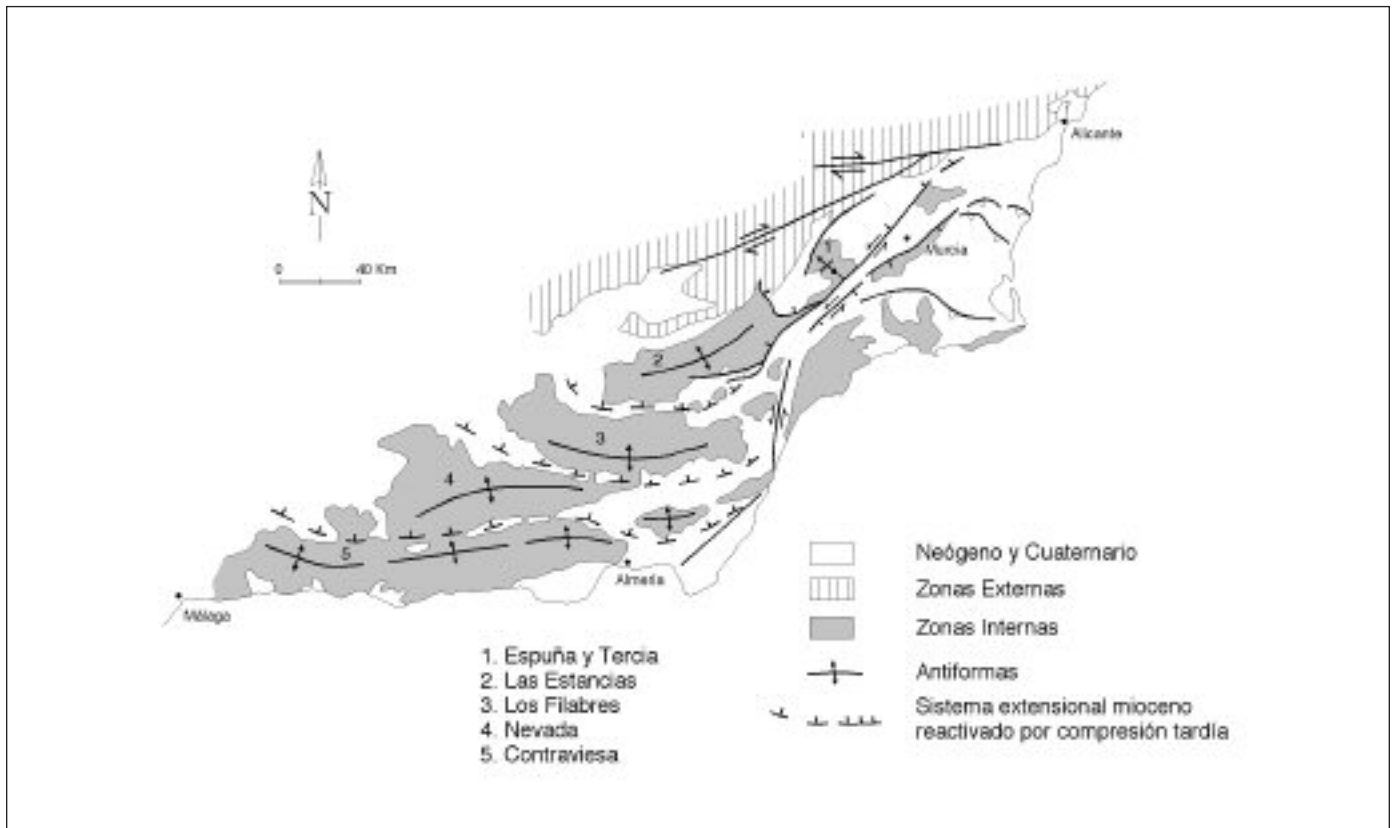


Fig. 9. Inversión estructural plio-pleistocena del sistema extensivo mioceno: fallas SO-NE reactivadas como rampas laterales y fallas E-O reactivadas como rampas frontales

Fig. 9. Pliocene-Pleistocene structural inversion: SW-NE lateral ramps and E-W frontal ramps

nal de las Zonas Internas. El sistema extensivo habría deformado los bloques de techo de un modo semejante al mostrado para la Sierra de Espuña.

Esta interpretación choca con la alta elevación topográfica de los propuestos *extensive hanging wall anticlines* (Sierra Nevada, Filabres, Alhamilla, Estancias y Espuña) que aunque muestran un progresivo descenso topográfico hacia el NE, acorde con la dirección de extensión del sistema propuesto, indicarían una elevación topográfica igual o aún más alta para sus respectivos e iniciales *footwalls* o bloques de muro. Ante esta alta geometría que habría alcanzado la cordillera tras la colisión del Terreno de Alborán, parece necesaria una última elevación, generada por un proceso contractivo que promovería la inversión tectónica de las viejas fallas extensivas; papel que asignamos a la muy visible y tardía contracción post-pliocena, previa o coetánea con un importante *uplift* final. Elevación póstuma puesta de manifiesto por la diferencia de espesores y facies entre el Plio-Pleistoceno de los mares de Alborán y Mediterráneo y de sus bordes emergidos.

Conclusiones

Los datos y también interpretaciones, que hemos tratado de describir, pueden ser resumidos en breves líneas: a) la información de subsuelo, sísmica y pozo, suele ayudar a la de superficie, especialmente cuando de interpretaciones estructurales se trata. De hecho, hemos intentado presentar un caso en el que las largamente intuidas fallas responsables de una de las fases del ascenso a superficie y plegamiento de las Zonas Internas, serían visibles en las líneas sísmicas de la cuenca de Fortuna; b) la Sierras de Espuña y de Tercia, y posiblemente la de las Estancias, y la cuenca de Fortuna y posiblemente la de Lorca, representan respectivamente *hanging wall anticlines* y *synclines*, de un sistema extensivo del Mioceno, de primer orden, que fue especialmente activo durante el Messiniense; c) este sistema podría estar relacionado con el *detachment* que caracteriza los contactos de los complejos Nevado-Filábrides, Alpujarrides y Maláguides, pero dado que los pliega, o el *detachment* fue polifásico y esta es su más tardía expresión, o estamos observando una diferente y última fase extensiva de las Zonas Internas; d) el sistema extensivo del Mioceno fue reactivado por una compresión NNO-SSE a N-S aún activa, de la que sus mejores exponentes son las fallas sinestrales de Alhama de Murcia, de Carrascoy, de Carboneras y de Palomares. Esta contracción tardía produjo una probable inversión tectónica s.s. que sería la última responsable del

remodelado y altas cotas topográficas de muchos de los afloramientos, tipo antiforme, de las Zonas Internas de la Cordillera Bética.

Agradecimientos

A V. García-Dueñas y M. C. Comas por haber discutido con nosotros algunos conceptos expresados en el primer manuscrito. Su colaboración e interés nos animaron a seguir con la idea de esta nota. A un revisor anónimo y a C. Sanz de Galdeano por sus comentarios y correcciones. Al IGME, porque gracias a él, volvimos a mirar la vieja sísmica de la región.

Referencias

- Barragán, G. 1986. Una nueva interpretación de la sedimentación neógena en el sector Suroccidental de la Cuenca de Vera. *Acta Geológica Hispánica*, t, 21-22: 449-457.
- Booth-Rea, G. y García-Dueñas, V. 1999. Estructuras extensionales en las Unidades Alpujarrides y Maláguides de la Sierra de la Tercia (Murcia, Béticas Orientales). *Geogaceta*, 25: 39-41.
- Booth-Rea, G., Azañón, J.M., Martínez-Martínez, J.M., Vidal, O. y García-Dueñas, V. 2003. Análisis estructural y evolución tectonometamórfica del basamento de las cuencas neógenas de Vera y Huerca-Overa, Béticas orientales. *Revista Sociedad Geológica de España*, 16 (3-4): 195-211.
- Bousquet, J.C. y Philip, H. 1976. Un nouveau modèle de limite de plaque Europe-Afrique, qui ne prend pas en compte la néotectonique et la sismicité des Cordillères Bétiques, est-il credible? *Bulletin Société Géologique de France*, 167: 811-814.
- Bousquet, J.C. 1979. Quaternary strike-slip faults in southeastern Spain. *Tectonophysics*, 52: 277-286.
- Bufo, E., Sanz de Galdeano, C. y Udías, A. 1992. Sísmica y tectónica del área Ibero-Magrebí. *III Congr. Geol. España y VIII Congr. Latinoam. Geol. Salamanca. Simposios*, t 1: 269-273.
- Calvo, R., Vegas, R. y Osete, M.L. 1996. Paleomagnetismo y deformación reciente en la zona interna de las Béticas orientales. *Geogaceta*, 20 (5): 1050-1053.
- Castellote, M., Fleta, J., Goula, X., Suriñach, E., Talaya, J. y Térmenes, A. 2000. Red GPS para el control de las fallas activas del SE de la Península Ibérica (Proyecto CuaTeNeo). *Geotemas*, 1(1): 167-172.
- Comas, M.C., García-Dueñas, V. y Jurado, M.J. 1992. La cuenca de Alborán: estructura y evolución neógena. *En: III Congr. Geol. España y VIII Congr. Latinoam. Geol. Salamanca. Simposios*. 2: 496-505.
- Dabrio, C.J. y Polo, M.D. 1991. Fan-delta slope deposits and sequences in the Murcia-Carrascoy Basin (Late Neogene, SE. Spain). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 15: 49-71

- Díaz Merino, C., Comas, M. y Martínez del Olmo, W. 2003. Secuencias de depósito neógenas del margen NO del mar de Alborán, cuenca de Málaga. *Geotemas*, 5: 60-65
- Estévez, A., Soria, J. y Alfaro, P. 1991. La alineación estructural de Crevillente-Alicante. Estratigrafía y tectónica. *I. Congr. Grupo Español del Terciario. Vic*, 117-119.
- Fernández-Fernández, E., Jabaloy, A. y González-Lodeiro, F. 2004. Estructura del Complejo Maláguide en el sector de Vélez Rubio y su relación con el contacto entre las Zonas Internas y Externas (Cordillera Bética oriental). *Geotemas*, 6 (3): 49-52.
- Galindo-Zaldívar, J., González Lodeiro, F. y Jabaloy, A. 1989. Progressive extensional shear structures in a detachment contact in the Western Sierra Nevada (Betic Cordilleras, Spain). *Geodinámica Acta*, 3: 73-85.
- Galindo-Zaldívar, J., González Lodeiro, F. y Javaloy, A. 1993. Stress ad paleostress in the Betic-Rift cordilleras (Miocene to present). *Tectonophysics*, 227: 105-126.
- Galindo-Zaldívar, J., Jabaloy, A. y González Lodeiro, F. 1996. El sistema de fallas normales de Sierra Nevada occidental desde el mioceno superior a la actualidad (zonas internas, Cordilleras Béticas). *Geogaceta*, 20(4): 897-900.
- Garcés, M., Krijgsman, W. y Agustí, J. 2000. La cuenca neógena de Fortuna, Cordilleras Béticas: Magnetoestratigrafía y evolución tectonosedimentaria. *Geotemas*, 1(2): 81-85.
- García-García, F., Fernández, J. y Viseras, C. 2000. Sedimentación deltaica de grano grueso y actividad tectónica en un borde de cuenca activo. Tortonense superior. Cordillera Bética. *Geotemas*, 2, 87-91.
- García-García, F. 2004. Sedimentary models of coarse-grained deltas in the Neogene basins of the Betic Cordillera (SE Spain): Tortonian and Pliocene examples. *Boletín Geológico y Minero*, 115 (3): 469-494.
- García-Dueñas, V. y Martínez-Martínez, J.M. 1988. Sobre el adelgazamiento mioceno del Dominio de Alborán: El despegue de los Filabres (Béticas orientales). *Geogaceta*, 5: 53-55.
- García-Dueñas, V. y Balanyá, J.C. 1991. Fallas normales de bajo ángulo a gran escala en las Béticas occidentales. *Geogaceta*, 9: 29-33.
- García-Dueñas, V., Martínez-Martínez, J.M. y Navarro-Vilá, F. 1986. La zona de falla de Torres Cartas, conjunto de fallas normales de bajo ángulo entre Nevado-Filabrides y Alpujárrides (Sierra Alhamilla, Béticas orientales). *Geogaceta*, 1: 17-19.
- Gauyau, F., Bayer, R., Bousquet, J.C., Lauchaud, J.C., Lesquer, A. y Montecat, Ch. 1977. Le prolongement de l'accident d'Alhama de Murcia entre Murcia et Alicante (Espagne méridional): Résultats d'une étude géophysique. *Bulletin Société Géologique de France*, (7), 19, 3: 623-630.
- Guillén Mondéjar, F., Rodríguez Estrella, T., Arana, R. y López Aguayo, F. 1995. Historia geológica de la cuenca de Lorca (Murcia): influencia de la tectónica en la sedimentación. *Geogaceta*, 18: 30-33.
- Hernández, J., Larouzière, F.D., De Bolze, J. y Bordet, P. 1987. Le magmatisme néogène bético-rifain et le couloir de décrochement 'Trans-Alboran'. *Bulletin Société Géologique de France*, 8, 3, 2: 257-267.
- Hernández-Enrile, J.L., Martínez-Díaz, J.J., Masana, E. y Santanach, P. 2000. Resultados preliminares del estudio paleosísmico mediante trincheras de la falla de Alhama de Murcia (Cordillera Bética). *Geotemas*, 1(4): 335-339.
- Jabaloy, A., Galindo-Zaldívar, J. y González-Lodeiro, F. 1992. Relaciones entre las cuencas sedimentarias post-Aquitaniense y la evolución del sistema extensional de Mecina (Cordilleras Béticas). *III Congr. Geol. España y VIII Congr. Latinoam. Geol. Salamanca. Simposios*, 2: 515-524.
- Jabaloy, A., Galindo-Zaldívar, J. y González-Lodeiro, F. 1993. The Alpujarride Nevado-Filabride extensional shear zone, Betic Cordillera, SE Spain. *Journal Structural Geologie*, 15: 555-569.
- Johnson, C., Harbury, N. y Hurford, A.J. 1997. The role of extension in the Miocene denudation of the Nevado-Filábride Complex, Betic Cordillera (SE. Spain) *Tectonics*, Vol.16. n°2
- Larouzière, F.D. de, Bolze, J., Bordet, P., Hernández, J., Montecat, C. y Ott d'Estevou, P. 1988. The Betic segment of the lithospheric Trans-Alboran shear zone during upper Miocene. *Tectonophysics*, 152: 41-52.
- Lonergan, L. y Platt, J.P. 1995. The Malagide-Alpujarride boundary: a major extensional contact in the Internal Zone of the eastern Betic Cordillera, SE Spain. *Journal Structural Geologie*, 17 (12): 1655-1671.
- Martínez del Olmo, W. y Serrano Oñate, A. 2000. Secuencias de depósito en el Neógeno de la cuenca del Mar Menor (Alicante-Murcia, SE de España). *Geotemas*, 1 (2): 243-247.
- Martínez Díaz, J.J. y Hernández-Enrile, J.L. 1991. Reactivación de la falla de Alhama de Murcia (sector Lorca-Totana): cinemática y campos de esfuerzos desde el Messiniense hasta la actualidad. *Geogaceta*, 9: 38-42.
- Martínez-Díaz, J.J. y Hernández-Enrile, J.L. 1992a. Tectónica reciente y rasgos seismotectónicos en el sector Lorca-Totana de la falla de Alhama de Murcia. *Estudios Geológicos*, 48: 153-162.
- Martínez-Díaz, J.J. y Hernández-Enrile, J.L. 1992b. Geometría y cinemática de la zona de cizallamiento Lorca-Totana (Falla de Alhama de Murcia). *III Congr. Geol. España y VIII Congr. Latinoam. Geol. Salamanca. Simposios*, 2: 420-430.
- Martínez-Díaz, J.J. 2000. Indicios morfológicos indicativos de tectónica activa en el sector de Lorca-Totana de la falla de Alhama de Murcia. *Boletín Geológico y Minero*, III-1: 67-76.
- Martínez-Díaz, J.J., Masana, E., Hernández-Enrile, J.L. y Santanach, P. 2001. Evidence for coseismic events of recurrent prehistoric deformation along the Alhama de Murcia fault, southeastern Spain. *Acta Geológica Hispánica*, 36: 315-327.
- Martínez-Martínez, J.M., Soto, J.I. y Balanyá, J.C. 2002. Orthogonal folding of extensional detachments. Structure and origin of the Sierra Nevada elongated dome (Betics, SE Spain). *Tectonics*, 21: 1-21
- Masana, E., Perea, H., Ortuño, M., Martínez-Díaz, J. y Santanach, P. 2003. Dislocaciones históricas en la terminación suroccidental de la falla de Alhama de Murcia. Primeros resultados del estudio paleosísmico. *Geotemas*, 6 (3):167-170.

- Megías, A.G. 1985. Relaciones tectosedimentarias entre arrecifes y evaporitas del Mio-Plioceno de las cuencas de Almería y Sorbas. *Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo*, 15: 153-158.
- Montenat, Ch., Ott d'Estevou, P. y Masse, P. 1987. Tectonic sedimentary characters of the Betic Neogene basins evolving in a crustal transcurrent shear zone (SE Spain). *Bulletin Centre Recher. Expl. Prod. Elf-Aquitaine*, 11: 1-22.
- Montenat, Ch. y Ott d'Estevou, P. 1990. Eastern Betic Neogene basins: a review. *Doc. et Trav. IGAL*, 12-13: 9-15.
- Montenat, Ch. y Ott D'Estevou, P. 1996. Late Neogene basins evolving in the Eastern Betic transcurrent fault zone: an illustrated review. *Tertiary basins of Spain (P.F. Friend and C. Dabrio Edit.) Cambridge Univ. Press*, 372-386.
- Orozco, M. y Platt, J.P. 2004. "Internal structure of a collapsed terrain: The Lujar syncline and its significance for the fold- and sheet-structure of the Alborán Domain (Betic Cordilleras, Spain)." *Tectonophysics*, v, 385, p. 85-104.
- Ortí, F., García-Veigas, J., Rosell, L., Rouchy, J.M., Inglès, M., Gimeno, D., Kasprzyk, A. y Playá, E. 1993. Correlación litoestratigráfica de las evaporitas messinienses en las cuencas de Lorca y Fortuna (Murcia). *Geogaceta*, 14: 98-101.
- Ott d'Estevou, P., Montenat, Ch. y Larouzière, F.D. de. 1988. Cuencas sedimentarias en régimen transcurrente en la zona bética oriental. *II Congr. Geol. Esp. SGE. Simposios*, 163-172.
- Pérez Lorente, F., Rodríguez Estrella, T., Serrano, F., Mancheño, M.A., Guillén Mondéjar, F., Arana, R., López Aguayo, F. y Fernández Tapia, M.T. 1992. Contribución a la bioestratigrafía neógena de la cuenca de Lorca (Murcia). *III Congr. Geol. España y VIII Congr. Latinoam. Geol. Salamanca. Simposios*, t-1: 185-190.
- Platt, J.P. 2004. Kinematics of a twisted core complex: Oblique axis rotation in an extended terrane (Betic Cordillera, southern Spain). *Tectonics*, 23 (6)
- Platt, J.P. 2005. Timing of tectonic events in the Alpujarride Complex, Betic Cordillera, S. Spain. *Journal of the Geological Society (London)*, v, 162, p. 451-462
- Polo, M.D. y Dabrio, C. 1991. Depósitos y secuencias de talud de fan delta en la cuenca de Murcia-Carrascoy (Neógeno superior, sureste de España). *I. Congr. Grupo Español del Terciario. Vic*, 262-264.
- Rodríguez Estrella, T., Mancheño, M.A., Guillén Mondéjar, F., López-Aguayo, F., Arana, R., Fernández Tapia, M.T. y Serrano, F. 1992. Tectónica y sedimentación neógena en la cuenca de Lorca (Murcia). *III Congr. Geol. España y VIII Congr. Latinoam. Geol. Salamanca. Simposios*, t-1: 201-206.
- Rodríguez-Fernández, L.R. (editor). 2004. Mapa Tectónico de España a escala 1:2.000.000. En: *Geología de España* (J. A. Vera, Ed.), SGE-IGME, Madrid.
- Rodríguez-Fernández, J. y Sanz de Galdeano, C. 1998. El corredor de las Alpujarras: un área de sedimentación con movimiento transcurrente. Arquitectura estratigráfica y evolución geodinámica. *II Congr. Geol. España., SGE, Simposios*, 153-162.
- Sanz de Galdeano, C. 1987. Strike-slip faults in the southern border of the Vera Basin, Almería, Betic Cordilleras. *Estudios Geológicos*, 43: 435-443.
- Sanz de Galdeano, C., López-Garrido, A.C. y García Tortosa, F.J. 1998. Nuevos datos para la estimación de los valores de levantamiento desde el Tortoniense Superior a la actualidad en la parte centro-occidental de la Sierra de Carrascoy (provincia de Murcia). *Geogaceta*, 23: 139-142.
- Sanz de Galdeano, C. y Rodríguez-Fernández, J. 1996. Neogene palaeogeography of Betic Cordillera: an attempt at reconstruction. *Tertiary basins of Spain (P.F. Friend and C. Dabrio Edit) Cambridge Univ. Press*, 323-329.
- Santisteban, C. 1981. Petrología y sedimentología de los materiales del Mioceno superior de la cuenca de Fortuna (Murcia), a la luz de la "teoría de la crisis de salinidad". *Tesis doctoral, Univ. de Barcelona*, 722 p.
- Silva, P.G., Goy, J.L. y Zazo, C. 1991. Discordancias progresivas y expresión geomorfológica de los abanicos aluviales cuaternarios de la Depresión tectónica del Guadalentín (Murcia, SE España). *Geogaceta*, 11: 67-70.
- Silva, P.G., Goy, J.L. y Zazo, C. 1992. Características estructurales y geométricas de la falla de desgarre de Lorca-Alhama. *Geogaceta*, 12: 7-10.
- Silva, P.G., Goy, J.L. y Zazo, C., Bardají, T., Somoza, L., Dabrio, C.J. y Lario, J. 1992. Evaluación geomorfológica de la actividad tectónica cuaternaria a lo largo de frentes montañosos de falla en el SE de España. *III Congr. Geol. España y VIII Congr. Latinoam. Geol. Salamanca. Simposios*, 2: 96-100.
- Soler, R., Masana, E. y Santanach, P. 2003. Evidencias geomorfológicas y estructurales del levantamiento tectónico reciente debido al movimiento inverso de la terminación sudoccidental de la falla de Alhama de Murcia (Cordillera Bética oriental). *Revista Sociedad Geológica de España*, 16 (3-4): 123-134.
- Vegas, R., Barranco, L.M. y Vázquez, J.T. 1987. Tectónica de bloques en el SE de España: aplicación de la teledetección a un límite de placas de tipo intracontinental. *Geogaceta*, 3: 17-19.
- Zeck, H.P., Monié, P., Villa, I.M. y Hansen, B.T. 1992. Very high rates of cooling and uplift in the Alpine belt of the Betic Cordilleras, southern Spain. *Geology*, 20: 79-82.

Recibido: marzo 2006
Aceptado: agosto 2006