

# Precisiones sobre la cinemática y edad de la falla del Río de la Miel (Maro, Málaga)

*Cinematic and age remarks on the Río de la Miel fault (Maro, Málaga)*

I. Pérez Ramos <sup>(1)</sup>, C. Sanz de Galdeano <sup>(2)</sup>, B. Andreo <sup>(1)</sup> y S. Pistre <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga. Campus de Teatinos, s/n. 29071. Málaga (España). isaacperez@uma.es

<sup>(2)</sup> Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (C.S.I.C. - Univ. Granada). Fac. de Ciencias. 18071 Granada (España). csanz@ugr.es

<sup>(3)</sup> Laboratoire Hydrosiences. Maison des Sciences de l'Eau. Université Montpellier II. 34095. Montpellier (France). pistre@msem.univ-montp2.fr

## ABSTRACT

The Río de la Miel fault shows a complex movement history. Three main displacement stages have been distinguished from the microtectonic analysis. The first stage was a dextral strike-slip movement whose  $\sigma_1$  was almost horizontal with a NNW-SSE direction. The second stage was a normal movement with  $\sigma_1$  situated in the vertical. Finally, in the third stage,  $\sigma_1$  had a low dipping angle and a NNE-SSW direction. The vertical displacement of the fault reach several hundreds of metres, probably more than 500 m. This fault has been active at least during the lower Pliocene.

**Key words:** Río de la Miel, Sierra Almirajara, strike-slip faults, normal faults.

Geogaceta, 36 (2004), 55-58  
ISSN:0213683X

## Introducción

La falla del Río de la Miel (FRM) se sitúa al E de la población de Maro (municipio de Nerja), en el sector SE de la provincia de Málaga, cerca del límite con la de Granada. Desde el punto de vista geológico, la falla se ubica en el borde meridional de Sierra Almirajara, dentro del complejo Alpujárride (Zona Interna de la Cordillera Bética) y forma parte de un conjunto de fallas de alto ángulo, de dirección aproximada NO-SE, que separa mármoles, situados en el bloque del NE, de metapelitas, en el bloque del SO (Fig. 1b). Entre las fallas de borde cabe citar la falla de Nerja-Frigiliana-Cómpeta, una importante fractura que limita por el sur la unidad de Almirajara y la pone en contacto con otra unidad tectónicamente más alta (Fig. 1b). Estas fallas han contribuido, en gran medida, a la formación de los importantes relieves de las sierras Almirajara y Tejeda.

El sector ha sido estudiado en trabajos previos de carácter regional (Copponex, 1959; Boulin, 1970; Elorza y García-Dueñas, 1980; Avidad y García-Dueñas, 1981; Sanz de Galdeano, 1986, 2003) y en otros más específicos como el realizado por Andreo *et al.* (1993), quienes hicieron varios cortes geológicos en los que se puede apreciar la magnitud del

salto vertical de la FRM. Sanz de Galdeano (1993) estudió esta falla y dedujo, primero, un movimiento de desgarre dextrorso y después un desplazamiento normal dextrorso. Soto y Manzano (2002) han trabajado en la falla objeto de estudio y dedujeron primero, un movimiento normal dextrorso, seguido por movimientos de desgarre locales y poco importantes. Según estos últimos autores, el mecanismo focal de la falla indica una compresión subvertical ( $66/033^\circ$ ) y extensión SO-NE ( $23/231^\circ$ ). El salto que han determinado para la FRM es de 38 m (principalmente en buzamiento) y la edad que han atribuido al último movimiento es Pleistoceno inferior. Gumiel *et al.* (2002) estudiaron la falla de Maro, próxima a la FRM, para la que dedujeron un movimiento normal dextrorso. Finalmente, Ruano (2003) estudió este sector junto con otros más del área de Tejeda y más septentrionales. Las direcciones de compresión que obtuvo en el área del Río de la Miel son próximas a la N-S y a la E-O, además de determinar una extensión predominante con  $\sigma_1$  cercano a la vertical.

En el presente trabajo se describe la geometría de la FRM, los tipos y magnitudes de sus saltos y se intenta acotar su edad de funcionamiento. También se discuten sus relaciones con el resto de fallas que continúan hacia el NO.

## Principales rasgos de la estratigrafía y de la estructura geológica del sector

La FRM (Fig. 1a) afecta a la unidad de Almirajara (Sanz de Galdeano, 1986, 1989, 1990, 2003), que en la base está formada por esquistos oscuros, de edad Paleozoico, cuya potencia estimada alcanza unos 500 m, aunque puede variar mucho por causas tectónicas. Encima existen esquistos claros, verdosos, atribuidos al Trías inferior, de los que se conservan al menos 200 m. A techo afloran mármoles, de edad Triásico medio-superior, con una potencia conservada de unos 400-500 m, los cuales presentan intercalados niveles de calcoesquistos de potencia variable. Encima existen más tramos litológicos, pero no afloran en el área de estudio, por lo que no se comentarán.

Discordantes sobre las rocas metamórficas del Complejo Alpujárride afloran limos, arenas y conglomerados marinos y continentales del Plioceno (Guerra-Merchán y Serrano, 1993). En él se diferencian dos unidades. La unidad basal, denominada Unidad Inferior Pliocena (UIP), presenta un basculamiento de unos  $20^\circ$  al S y cerca de la falla, junto a la desembocadura del Río de la Miel, contiene grandes bloques marmóreos. Esta unidad fue datada como Plioceno por Fourniguet (1975) y posteriormente por

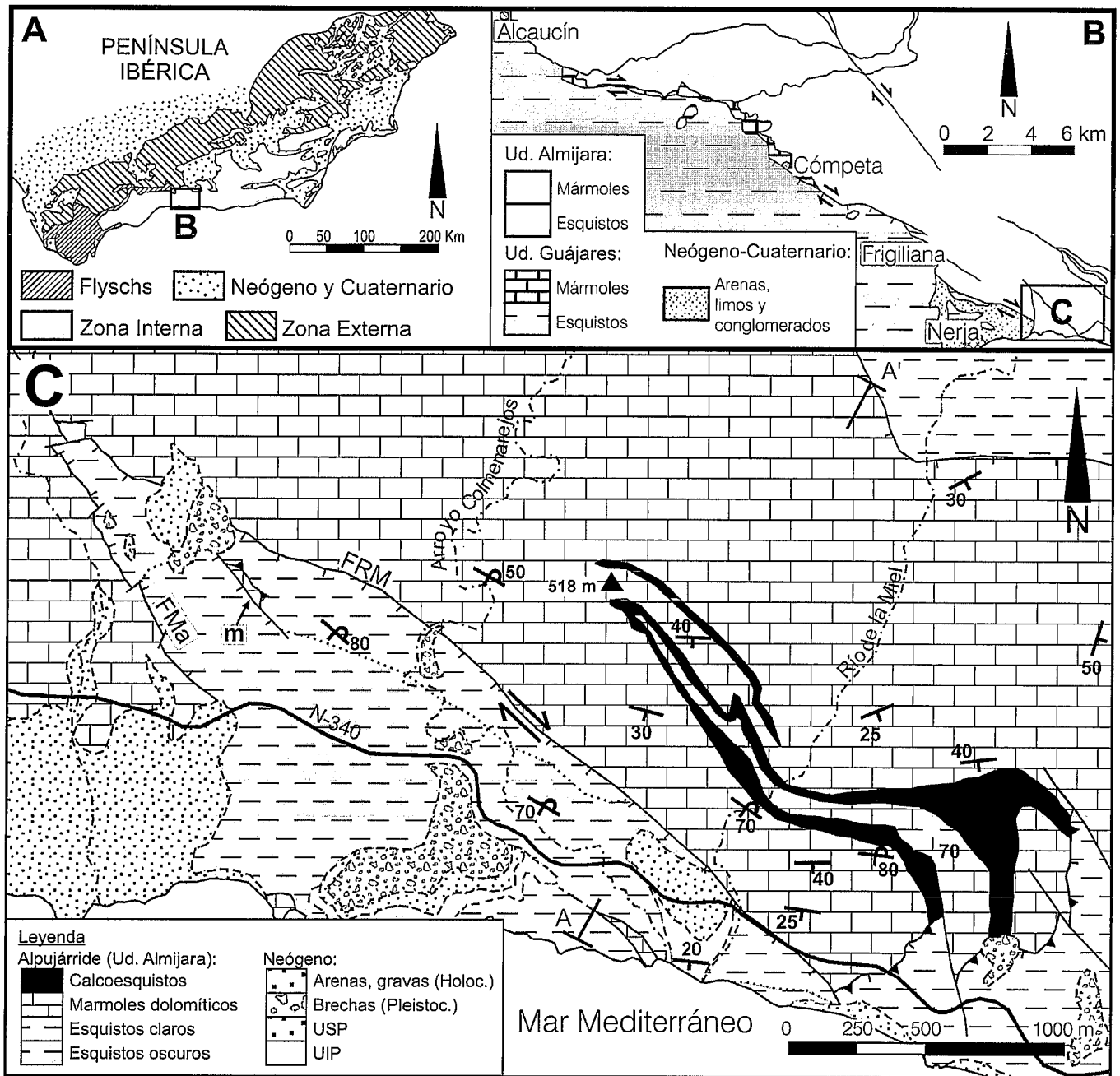


Fig. 1.- Localización geográfica y geológica del área de estudio. FMA: falla de Maro, FRM: falla del Río de la Miel, m: mármoles (en ventana tectónica).

Fig. 1.- Geographic and geologic location of the study area. FMA: Maro fault, FRM: Río de la Miel Fault, m: marbles (in tectonic window).

cisada como Plioceno inferior, según Elorza y García-Dueñas (1980). Por medio de una discordancia angular se pasa a la Unidad Superior Pliocena (USP), subhorizontal. Fourniguet (1975) atribuyó esta unidad al Plioceno medio o base del Plioceno superior. Para Guerra-Merchán y Serrano (1993) la discordancia no supone aparentemente una ruptura sedimentaria, por lo que la edad de ambas unidades podría ser muy parecida. Encima y discordantes se sitúan unas brechas cementadas también subhorizontales, de edad Pleistoceno.

En el sector del Río de la Miel la estructura corresponde a un apretado sinclinal

vergente al norte y cabalgado por materiales de su misma unidad, conjunto que posteriormente ha sido afectado por la FRM (Fig. 2). La presencia de una banda de calcoesquistos permite reconocer el núcleo del sinclinal en el campo (Fig. 1c). La escama cabalgante aflora en el bloque de techo de la FRM, en una fosa tectónica generada durante el movimiento normal de esta falla y la falla de Maro (Fig. 1c). De dicha escama sólo se conservan restos del flanco inverso de la estructura deducida en el corte (Fig. 2), como demuestra el hecho de que la serie metapelítica basal esté invertida. La presencia de un pequeño afloramiento de mármoles al NO (Fig. 1c-m), de-

bajo de los esquistos del bloque de techo de la FRM, es congruente con la existencia de una inversión y superposición tectónica dentro de la misma unidad.

**Características y movimientos de la falla del Río de la Miel**

Su dirección varía entre N130E y N140E, con un buzamiento de 55°-80° al SO y una longitud visible de unos 3,5 Km. En su terminación SE se observa claramente la superficie de falla, muy pulida en muchos puntos, con distintos juegos de estrías y acanaladuras.

Los movimientos de esta falla han sido complejos y probablemente no todos se muestren actualmente en su superficie, por lo que sólo se puede conocer parte de su cinemática. Cabe distinguir 3 etapas principales de movimiento:

1.- Los primeros desplazamientos observados corresponden a estrías que son horizontales o con un pitch de hasta 20° bien al NO o al SE, que son dextrorsos de acuerdo con la forma de las estelas de las estrías.

2.- Movimiento muy marcado de fuerte componente vertical –el predominante en el plano de falla-, con grandes acanaladuras y estrías que obliteran en gran medida a las de la etapa 1, y cuyo pitch es de 60°-70° al NO. Es de tipo normal, con componente dextrorsa. Localmente aparecen otras familias de estrías, superpuestas a las anteriores y con direcciones comprendidas entre la del juego principal y otras con pitch hacia el SE y movimiento de componente sinistrorso, todas de tipo normal. En varios puntos se observan rotaciones en las estrías de manera que pasan incluso a netos movimientos sinistrorsos.

3.- La falla es cortada por dos juegos de fallas secundarias de alto ángulo, conjugadas entre sí, con desplazamientos predominantemente horizontales de orden métrico. Un juego tiene una dirección comprendida entre N140E y N195E, verticales o con buzamientos altos (>60°) hacia el oeste y desplazamiento dextrorso; las estrías que presentan se inclinan tanto hacia el sur como al norte, con valores generalmente inferiores a 25°. En el segundo juego, las direcciones de los planos de fractura quedan comprendidas entre N45E y N90E, los buzamientos varían entre 90° y 70° con componente S, en algún caso al N, y el movimiento es sinistrorso.

Sobre el plano principal aparecen también otros juegos de estrías, horizontales y de tipo dextrorso, poco marcadas y sobreimpuestas a las grandes acanaladuras de la etapa 2. Posiblemente están relacionadas con el movimiento de la etapa 3 que produjo la fracturación del plano principal, ya que ambos son compatibles con un  $\sigma_1$  de dirección cercana a N-S, el cual produciría movimientos dextrorsos en caso de no romper el plano de falla. Dichas estrías ya habían sido descritas por Soto y Manzano (2002), las cuales fueron efectivamente interpretadas como posteriores a la etapa 2 y aparentemente poco importantes en cuanto a la magnitud del movimiento.

Los movimientos de las tres etapas se muestran en la Fig. 3, donde también se representan los distintos sentidos de desplazamiento. En la primera etapa, la dirección de compresión máxima ( $\sigma_1$ ) fue casi N-S a NNO-SSE; en la segunda,  $\sigma_1$  pasó casi a la

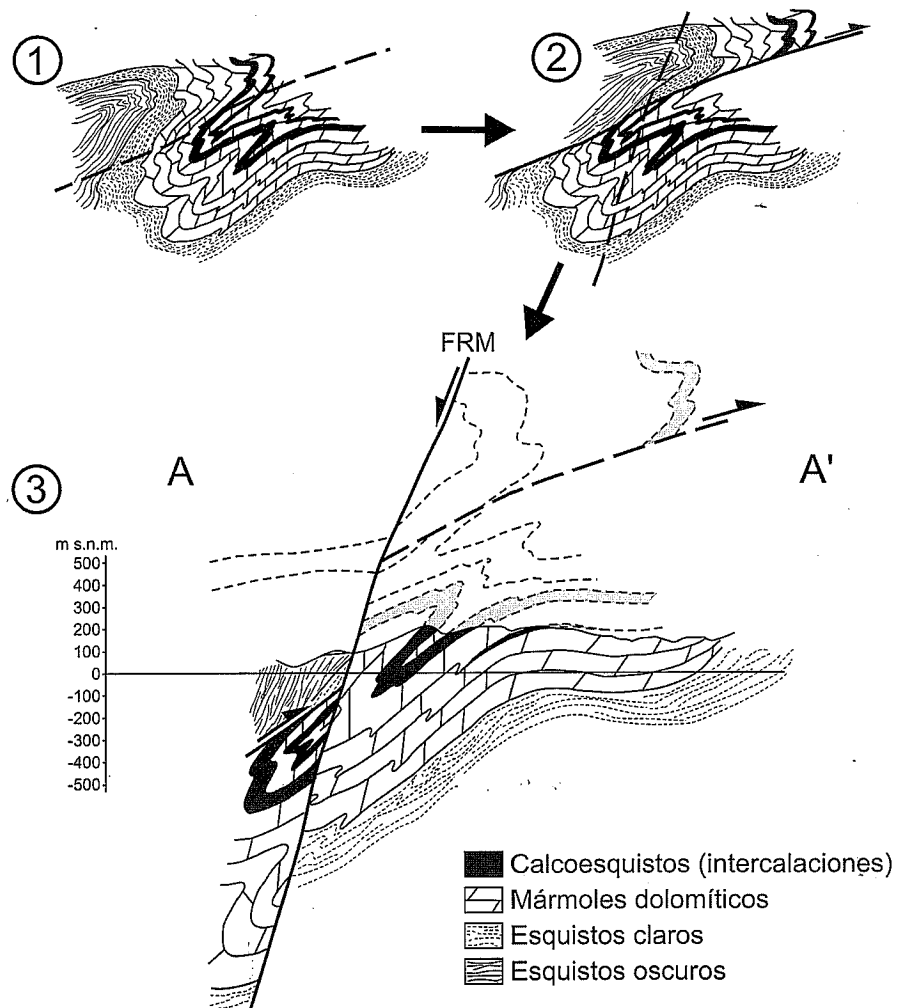


Fig. 2.- Evolución cinemática de la estructura geológica del sector del Río de la Miel. La situación final (3) corresponde al corte geológico según la dirección A-A' (ver Fig. 1c).

Fig. 2.- Cinematic evolution of the geologic structure in the Río de la Miel sector. The final situation (3) corresponds to the A-A' geologic cross-section (see Fig. 1c).

vertical, mientras que en la tercera etapa cambió a la dirección NNE-SSO.

#### Discusión de los resultados dentro del contexto regional

Las dos primeras etapas son congruentes con los desplazamientos dextrorsos y normales que hundieron los bloques del SO de todo el conjunto de fallas que limitan el borde SO de las sierras Almirajara y Tejeda (Alonso-Chaves y Orozco, 1998). Estas etapas han sido posiblemente las más importantes del movimiento de estas fallas, con un desplazamiento vertical conjunto del orden de 2000 m, dado que unidades tectónicamente superpuestas a la de Almirajara afloran actualmente a una cota hasta 2000 m inferior a la misma.

La falla de Frigiliana (Fig. 1b), al NO de la falla de Río de la Miel, presenta indicios de movimientos sinistrorsos (Ruano, 2003), interpretados como parte de un proceso de extensión NE-SO. Esto es compati-

ble con los grupos de estrías con movimiento normal-sinistrorso observados en la etapa 2 en la FRM y con los propios datos de Ruano (op.cit.) para este mismo sector.

La última etapa observada en la falla del Río de la Miel responde posiblemente a una situación local en la que  $\sigma_1$  pasa a una posición NNE-SSO.

El salto vertical de la falla del Río de la Miel es menor que los 2000 m asignados al conjunto de las fallas. El corte geológico de la figura 2, en el propio sector del Río de la Miel, muestra un desplazamiento vertical que podría superar los 500 metros. Aunque no es posible precisar la cuantía del mismo debido a la ausencia de marcadores en ambos bloques, se puede afirmar que, teniendo en cuenta la estructura geológica, el salto de la FRM es del orden de varios centenares de metros. No se han encontrado referencias fiables que permitan valorar el salto horizontal.

La edad de los movimientos de las fallas del borde sur de las sierras de Tejeda y Almirajara no se conoce con precisión. Es

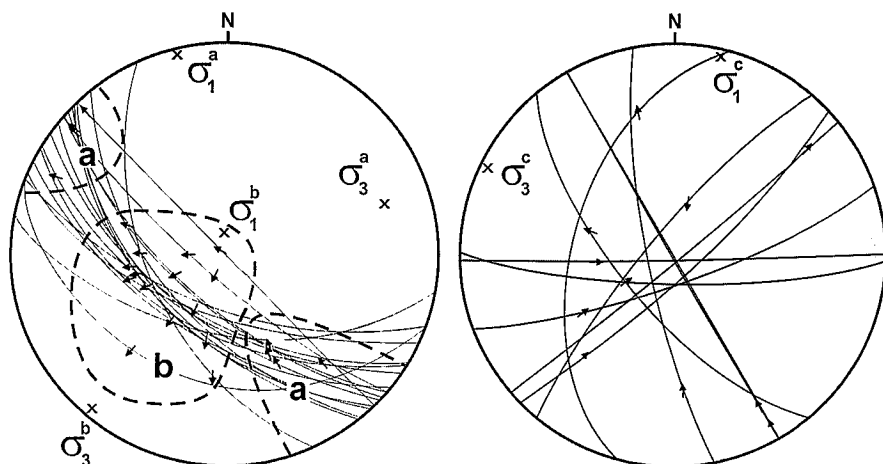


Fig. 3.- Representación estereográfica de las medidas tomadas en la falla del Río de la Miel. A la izquierda se representan las medidas realizadas sobre el plano principal y correspondientes a las etapas 1 (a) y 2 (b). A la derecha se representan las medidas de las fallas secundarias que cortan al plano principal. Las flechas indican la dirección de las estrías y el sentido de movimiento deducido para el bloque de techo.

Fig. 3.- Stereographic representation of the measures taken in the Río de la Miel fault. To the left displayed the measures taken on the main surface which correspond to the stages 1 (a) and 2 (b). To the right the measures of the secondary faults that cut to the main surface. The arrows indicate the direction of the striae and the sense of movement deduced for the hanging wall.

obvio que si afectan a los cabalgamientos entre unidades ocurridos durante la estructuración de la Cordillera Bética, son posteriores a los mismos y, por tanto, sus primeros movimientos pudieron tener lugar a partir del Mioceno inferior, aunque es más probable que se iniciaran durante el Mioceno medio y que los movimientos verticales, más importantes, tuvieran lugar del Mioceno superior en adelante. En los sedimentos pliocenos pertenecientes a la UIP que están más próximos a la FRM hay bloques de mármol de decenas de metros cúbicos; éstos debieron caer del escarpe adyacente, probablemente durante épocas de mayor inestabilidad tectónica. El basculamiento general de la UIP, de unos  $20^\circ$  al S, puede también ser reflejo de tal inestabilidad. Las acumulaciones de brechas pleistocenas depositadas por abanicos aluviales al pie de Sierra Almijara también pueden estar relacionadas, al menos en parte, con los movimientos verticales que contribuyeron a la génesis del relieve.

Los movimientos verticales de una falla situada al oeste de la del Río de la Miel, pero del mismo sistema que limita Sierra Almijara por el sur, han dado lugar a que la Cueva de Nerja esté actualmente en la zona no saturada del acuífero en el que se encuentra (Andreo y Carrasco, 1993). En el interior de la Cueva hay indicios de movimientos sísmicos ocurridos hace 800.000 años (Durán *et al.*, 1993), pero también hay evidencias de que hace 300.000 años el nivel piezométrico inundaba las partes más bajas de la cavidad y, actualmente, el nivel del agua se encuentra del orden de una decena de metros por debajo.

Por tanto, según los datos disponibles, la FRM parece haber sido activa al menos durante el Plioceno inferior, aunque en la región existen indicios de movimientos tectónicos posteriores de otras fallas, ya en el Cuaternario.

### Conclusiones

La falla del Río de la Miel forma parte de un sistema de fallas de dirección NO-SE que limita por el sur los mármoles alpujarrides de Sierra Almijara.

El estudio de las estrías de la falla del Río de la Miel ha permitido diferenciar al menos tres movimientos principales, aunque en el detalle presentan algunas variaciones. El primer movimiento observable es de salto en dirección dextrorso, con un  $\sigma_1$  subhorizontal de dirección NNO-SSE. Este movimiento es seguido por desplazamientos normales muy marcados de componente dextra, aunque también existen, de forma menos patente, movimientos normal-sinistrorsos o normales puros, con un  $\sigma_1$  casi vertical. El último movimiento vuelve a tener, al igual que la etapa 1, un  $\sigma_1$  casi horizontal, con una dirección NNE-SSO en este caso. Además, los datos obtenidos son congruentes con las observaciones hechas por otros autores en otras fallas del sur de Sierra Tejada-Almijara.

El salto vertical de la falla de Río de la Miel, a pesar de no ser posible precisarlo, es del orden de varios centenares de metros, según se deduce de la estructura del sector.

La edad de la falla de Río de la Miel no se conoce exactamente, aunque se puede afirmar que ha sido activa al menos durante el Plioceno inferior.

### Agradecimientos

Es una contribución al proyecto "Estudio regional del karst de Almijara" financiado por la Fundación Cueva de Nerja, a la acción especial BTE-2001-5230-E y a los Grupos de Investigación de la Junta de Andalucía 217 y 308.

### Referencias

- Alonso-Chaves, F.M. y Orozco, M. (1998): *Geogaceta*, 24, 15-18.
- Andreo, B. *et al.* (1993): *Geología de la Cueva de Nerja* (F. Carrasco ed.). *Trabajos sobre la Cueva de Nerja*, 3, 25-50.
- Andreo, B. y Carrasco, F. (1993): *Geología de la Cueva de Nerja* (F. Carrasco ed.). *Trabajos sobre la Cueva de Nerja*, 3, 163-187.
- Avidad, J. y García-Dueñas, V. (1981): Mapa y memoria explicativa de la Hoja 1055 (Motril) del mapa geológico nacional a escala 1:50000, I.G.M.E.
- Boulin, J. (1970): *Les Zones Internes des Cordillères Bétiques de Málaga à Motril* (Espagne méridionale). Tesis Univ. Paris, Ann. Hébert et Haug., Trav. Géol. Fac. Sc. Univ. Paris, 10, 237 p.
- Copponex, J.P. (1959): *Bol. Geol. y Min.*, 70, 79-208.
- Durán, J.J. *et al.* (1993): *Geología de la Cueva de Nerja* (F. Carrasco ed.). *Trabajos sobre la Cueva de Nerja*, 3, 233-248.
- Elorza, J.J. y García-Dueñas, V. (1980): Mapa y memoria explicativa de la Hoja 1054 (Vélez-Málaga) del mapa geológico nacional a escala 1:50000, I.G.M.E.
- Fourniguet, J. (1975): *Néotectonique et Quaternaire marin sur le littoral de la Sierra Nevada. Andalousie (Espagne)*. Tesis Univ. Orleans, 234 p.
- Guerra-Merchán, A. y Serrano, F. (1993): *Geología de la Cueva de Nerja* (F. Carrasco ed.). *Trabajos sobre la Cueva de Nerja*, 3, 55-90.
- Gumiel, P. *et al.* (2002): *Geogaceta*, 31, 201-204.
- Ruano, P. (2003): *Estructuras tectónicas recientes en la transversal central de las Cordilleras Béticas*. Tesis Univ. Granada. 446 p. No publicada.
- Sanz de Galdeano, C. (1986): *Estudios Geol.*, 42, 281-289.
- Sanz de Galdeano, C. (1989): *Rev. Soc. Geol. España*, 2, 77-84.
- Sanz de Galdeano, C. (1990): *Estudios Geol.*, 46, 123-134.
- Sanz de Galdeano, C. (1993): *Geología de la Cueva de Nerja* (F. Carrasco ed.). *Trabajos sobre la Cueva de Nerja*, 3, 95-114.
- Sanz de Galdeano, C. (2003): *Rev. Soc. Geol. España*, 16 (3-4), 135-149.
- Soto, J.I. y Manzano, F.J. (2002): *Geogaceta*, 31, 139-142.