

# El sistema de fallas normales de Sierra Nevada occidental desde el Mioceno Superior a la actualidad (Zonas Internas, Cordilleras Béticas)

*The normal fault system of western Sierra Nevada from the Upper Miocene up to present-day (Internal Zones, Betic Cordilleras)*

J. Galindo-Zaldívar, A. Jabaloy y F. González-Lodeiro

Dpto. de Geodinámica. Universidad de Granada. 18071 Granada.

## ABSTRACT

The Mecina Fault is a low-angle normal fault that superpose the Alpujarride over the Nevado-Filábride and was active throughout its whole extension before the Upper Miocene. From the Upper Miocene, high-angle normal faults develop in western Sierra Nevada, with km length slips and associated asymmetric basins. However, these faults joint to the Mecina Fault, that is not sealed by the Neogene sedimentary basins in western Sierra Nevada. All these data suggest that the Mecina Fault has been reactivated in western Sierra Nevada from Upper Miocene times and that constitutes the basal detachment of the fault system in this region.

**Key words:** High and low angle normal faults, fault reactivation, domino structures, asymmetric basins.

Geogaceta, 20 (4) (1996), 897-900  
ISSN: 0213683X

## Introducción

En las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas (Fig. 1), la Falla de Mecina superpone el Complejo Alpujarride sobre el Complejo Nevado-Filábride. Ambos complejos están compuestos por rocas paleozoicas y mesozoicas con deformación y metamorfismo alpinos. La Falla de Mecina se interpreta como una falla normal de bajo ángulo que fué activa en toda su extensión (Detachment of Mecina, Jabaloy *et al.*, 1992) antes del Tortonense Inferior (Galindo-Zaldívar *et al.*, 1989; García-Dueñas *et al.*, 1992; Jabaloy *et al.*, 1992, 1993; Vissers *et al.*, 1995). La intensidad de la deformaciones extensivas asociadas a la Falla de Mecina impide el estudio detallado de las deformaciones compresivas previas relacionadas con el metamorfismo progrado (Jabaloy *et al.*, 1993). Las deformaciones extensivas en el Nevado-Filábride son dúctiles (fábricas plano-lineares y estructuras S-C) y evolucionan a dúctil-frágiles (clivaje de crenulación extensional) y a frágiles (diacclasas y fallas de bajo y gran ángulo). Sin embargo, las deformaciones asociadas a la Falla de Mecina en el Alpujarride son siempre frágiles (diacclasas y fallas)

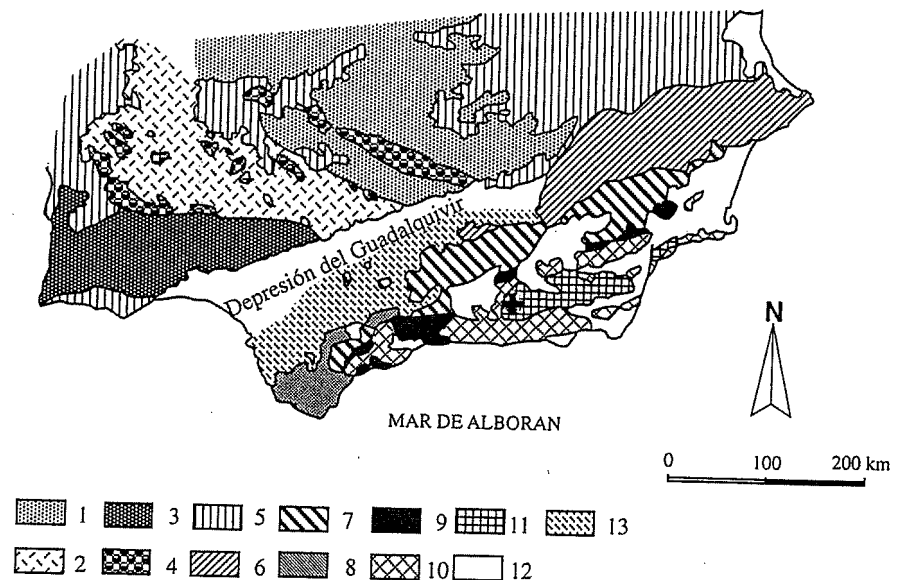


Fig. 1.- Localización geológica de Sierra Nevada en las Cordilleras Béticas. 1, Zona Centroibérica. 2, Zona de Ossa-Morena. 3, Zona Sud-Portuguesa. 4, Rocas intrusivas ígneas. 5, Cobertura sedimentaria del Macizo Ibérico. 6, Zona Prebética. 7, Zona Subbética. 8, Flysch del Campo de Gibraltar. 9, Complejos de la Pre-Dorsal, Dorsal, Alosaina y Málaga. 10, Complejo Alpujarride. 11, Complejo Nevado-Filábride. 12, Cuencas neógenas. 13, Olistostromas. La cruz indica la posición de Sierra Nevada occidental.

Fig. 1.- Geological setting of Sierra Nevada in the Betic Cordilleras. 1, Central Iberian Zone. 2, Ossa-Morena Zone. 3, South-Portuguese Zone. 4, Intrusive igneous rocks. 5, Sedimentary cover of Iberian Massif. 6, Prebetic Zone. 7, Subbetic Zone. 8, Campo de Gibraltar Flysch. 9, Pre-Dorsal, Dorsal, Alosaina and Málaga complexes. 10, Alpujarride Complex. 11, Nevado-Filábride Complex. 12, Neogene basins. 13, Olistostromes. The cross indicates the location of western Sierra Nevada.

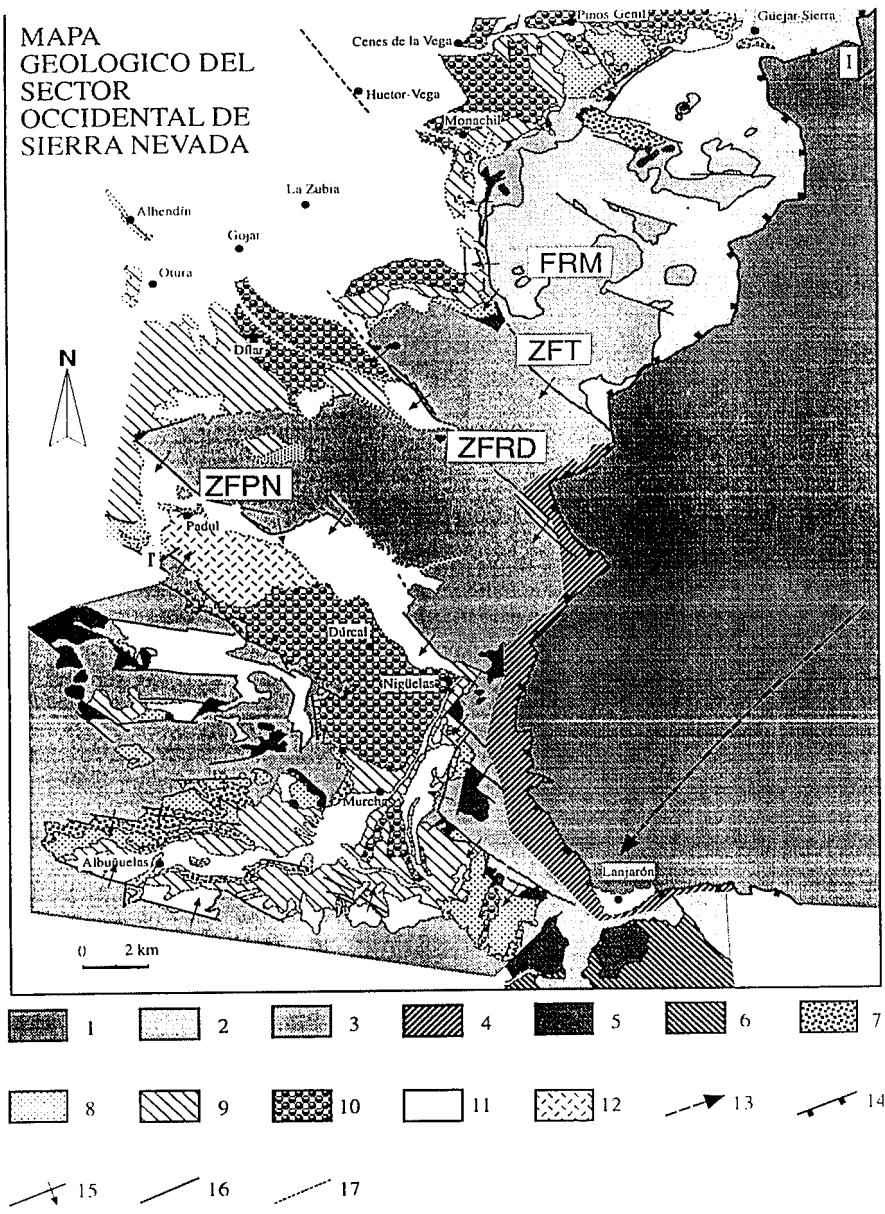


Fig. 2.- Mapa geológico del borde occidental de Sierra Nevada. 1, Complejo Nevado-Filábride. Complejo Alpujarride: 2, Unidad de las Víboras. 3, Unidad del Trevenque. 4, Brechas basales de la Unidad del Trevenque. 5, Unidad de Fuente Piedra. 6, Otras unidades alpujarrides. Materiales neógenos y plio-cuaternarios: 7, Rocas pre-Tortonenses. 8, Formación Quentar y conglomerados de Tablate. 9, Formaciones Morollón y Dudar. 10, Formación Pinos-Genil. 11, Rocas plio-cuaternarias. 12, Turbera del Padul. 13, Traza axial del antiforme de Sierra Nevada. 14, Despegue extensional, Falla de Mecina. 15, Falla normal de gran buzamiento, con indicación de sentido de buzamiento. 16, Falla normal. 17, Contacto discordante. FRM, Falla del Río Monachil. ZFPN, Zona de falla de Padul-Nigüelas. ZFRD, Zona de falla del Río Dílar. ZFT, Zona de falla del Trevenque.

Fig. 2.- Geological map of western Sierra Nevada. 1, Nevado-Filábride Complex. Alpujarride Complex: 2, Víboras unit. 3, Trevenque unit. 4, Basal tectonic breccias in the Trevenque unit. 5, Fuente Piedra unit. 6, Other Alpujarride units. Neogene and Plio-Quaternary rocks: 7, Pre-Tortonian rocks. 8, Quentar Formation and Tablate conglomerates. 9, Morollón and Dudar Formations. 10, Pinos-Genil Formation. 11, Plio-Quaternary rocks. 12, Padul peat. 13, Sierra Nevada antiform axis. 14, Extensional detachment, Mecina Fault. 15, High-angle normal fault. 16, Normal fault. 17, Unconformity. FRM, Rio Monachil Fault. ZFPN, Padul-Nigüelas Fault Zone. ZFRD, Rio Dílar Fault Zone. ZFT, Trevenque Fault Zone.

(Galindo-Zaldívar *et al.*, 1989; Jabaloy *et al.*, 1992, 1993). Todas ellas indican desplazamientos de los bloques de techo hacia el SW en Sierra Nevada Occidental. Las dataciones radiométricas (Monié *et al.*, 1991) indican que las deformaciones dúctiles terminaron en el Nevado-Filábride hace 16 M.a. y los datos de fission-track (Johnson, 1993) sugieren que la extensión asociada a la Falla de Mecina terminó hace 9 M.a..

Sobre los complejos Alpujarride y Nevado-Filábride se desarrollan cuencas sedimentarias neógenas y cuaternarias. Desde el Mioceno Superior se produjeron fallas normales de gran ángulo (Sanz de Galdeano, 1976) y fallas de desgarre (Sanz de Galdeano, 1983). Además se desarrollaron pliegues de tamaño kilométrico y vergencias N y NW (Weijermars *et al.*, 1985). Sierra Nevada occidental está constituida por un gran antiforme de eje NE-SW, con una terminación periclinal en su extremo SW (Fig. 2).

En Sierra Nevada occidental las fallas de gran buzamiento se unen a la Falla de Mecina, que no está fosilizada por los sedimentos de las cuencas neógenas. El objetivo de este trabajo es determinar las relaciones entre el sistema de fallas normales de gran buzamiento del Alpujarride y la Falla de Mecina. Para ello también se estudiará la geometría de los sedimentos de las cuencas neógenas ligadas al sistema de fallas.

**El sistema de fallas de Sierra Nevada occidental**

El Complejo Alpujarride de Sierra Nevada occidental ha sido deformado por diaclasas y fallas normales, desarrolladas durante una etapa de deformación extensiva (Galindo-Zaldívar *et al.*, 1989). La Falla del Río Monachil (FRM, Figs. 2 y 3) corta al Complejo Alpujarride y se une a la Falla de Mecina. Es una de las fallas principales de bajo buzamiento del Sistema Extensivo de Mecina, que fué activo durante el Mioceno inferior (Jabaloy *et al.*, 1992).

En Sierra Nevada occidental se desarrollaron fallas normales de gran buzamiento que deformaron todas las estructuras relacionadas con el Sistema Extensivo de Mecina en los Alpujarrides, pero que no cortan a la Falla de Mecina ni al Nevado-Filábride (Figs. 2 y 3). Son fallas con saltos que superan a veces el Km, de dirección media N120°E a N135°E y buzamientos medios entre 50° y 60°, generalmente hacia el SW. Las fallas mayores de este sistema en Sierra Nevada occidental (Figs. 2 y 3) son: la zona de falla de Padul-Nigüelas (ZFPN), la zona de fa-

terminación sudoriental de la cuenca de Padul-Nigüelas las rocas más recientes son las menos deformadas. Además son las que están menos basculadas.

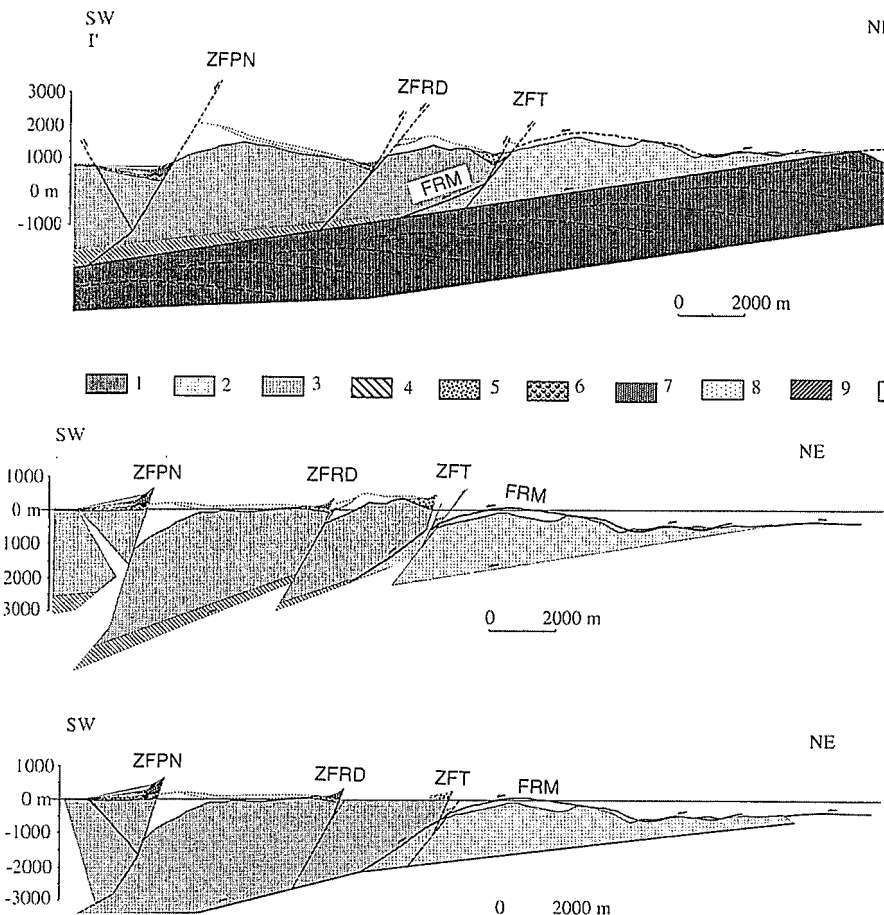
### Discusion y conclusiones

Las fallas normales de gran buzamiento en Sierra Nevada occidental (Figs. 2 y 3) se asocian generalmente a un sistema de fallas planas en dominó, con desarrollo de cuencas asimétricas. No obstante, existen también fallas lisétricas con roll-over (Zona de Falla de Padul-Nigüelas). Estas fallas se localizan sobre la Falla de Mecina que constituiría el despegue basal del sistema de fallas, y que sería reactivada durante la actividad del sistema de fallas de gran buzamiento. La acomodación de los bloques cerca del despegue basal y la transferencia del salto de cada falla a dicho despegue probablemente han contribuido al desarrollo de una zona de falla en la base del Alpujarride de cuya potencia aumenta hacia el SW (Fig. 3).

La geometría de los sedimentos neógenos y la geomorfología de la región indican que las grandes fallas son actualmente activas o lo han sido hasta tiempos muy recientes (Lhénaff, 1965; Sanz de Galdeano, 1976; Riley y Moore, 1993). Las variaciones de la potencia de los depósitos de turba y de los abanicos aluviales en la cuenca de Padul-Nigüelas (Lhénaff, 1965; Domingo-García *et al.*, 1983) (Fig. 3) indican que parte del basculamiento y de la actividad de las fallas son cuaternarios. Aunque el sistema de fallas pudo comenzar su actividad durante el Tortonense, la mayor parte del salto es posterior al Turolense ya que el basculamiento de los materiales tortonienses y turolenses es similar. Estos datos sugieren que la reactivación de la Falla de Mecina ha sido principalmente activa desde el Mioceno terminal en Sierra Nevada occidental.

La dirección de extensión de las estructuras dúctiles y frágiles del Sistema Extensivo de Mecina (Galindo-Zaldívar *et al.*, 1989; Jabaloy *et al.*, 1992; Galindo-Zaldívar *et al.*, 1993) es similar a la que indica el sistema de fallas de gran buzamiento. Ello muestra que la dirección de extensión NE-SW ha continuado en este sector, a pesar de que han cambiado las estructuras activas en cada momento.

El corte geológico simplificado de la Figura 3, perpendicular al sistema de fallas mayores de gran buzamiento, permite ensayar una reconstrucción aproximada del sistema de fallas. No obstante, la deformación interna en los



**Fig. 3.-** Corte geológico simplificado del borde occidental de Sierra Nevada en dirección SW-NE perpendicular al sistema de fallas de gran buzamiento y posible restitución del sistema de fallas. Discusión en el texto. 1, Complejo Nevado-Filábride. Complejo Alpujarride: 2, Unidad de las Víboras. 3, Unidad del Trevenque. 4, Brechas basales de la Unidad del Trevenque. 5, Formación Quentar. 6, Conglomerado de Tablate. 7, Formación Pinos-Genil. 8, Formación Dúdar. 9, Materiales plio-cuaternarios. 10, Turbera del Padul. FRM, Falla del Río Monachil. ZFPN, Zona de falla de Padul-Nigüelas. ZFRD, Zona de falla del Río Dílar. ZFT, Zona de falla del Trevenque.

**Fig. 3.-** Simplified geological cross section of western Sierra Nevada normal to the NW-SE high-angle fault system and suggested restoration of the fault system. Discussion in text. 1, Nevado-Filabride Complex. Alpujarride Complex: 2, Las Víboras unit. 3, Trevenque unit. 4, Basal tectonic breccias in the Trevenque unit. 5, Quentar Formation. 6, Tablate conglomerate. 7, Pinos-Genil Formation. 8, Dúdar Formation. 9, Plio-Quaternary rocks. 10, Padul peat. FRM, Rio Monachil Fault. ZFPN, Padul-Nigüelas Fault Zone. ZFRD, Rio Dílar Fault Zone. ZFT, Trevenque Fault Zone.

lla del Río Dílar (ZFRD) y la zona de falla del Trevenque (ZFT). No obstante, la existencia de numerosas zonas de falla en el Alpujarride indica que los bloques limitados por las fallas principales también se deformaron internamente. Las zonas de falla con cataclasitas son más frecuentes en la parte inferior de los bloques y su potencia aumenta hacia el SW (Fig. 3).

Las fallas mayores llevan asociadas cuencas asimétricas neógenas y cuaternarias que se desarrollaron tanto en el borde de oriental de la Depresión de Granada (Figs. 2 y 3) como en su interior (Rodríguez-Fernández *et al.*, 1989). Mientras que las formaciones tortonienses son marinas, las del Tortonense terminal tienen carácter marino restringido y

las de Turolense y posteriores son ya continentales (Rodríguez-Fernández *et al.*, 1989). Las cuencas neógenas están limitadas por grandes fallas normales en sus bordes nordorientales y por discordancias o fallas de pequeño salto en los sudoccidentales. Las discordancias basales están basculadas hacia el NE, con buzamientos medios de 14° en las cuencas asociadas a las zonas de falla del Trevenque y del Río Dílar. La discordancia basal está plegada en un roll-over en la cuenca de Padul-Nigüelas (Fig. 3). Las cuencas sedimentarias neógenas también están deformadas internamente por juegos de fallas conjugadas de orientación similar a las grandes fallas de borde. Sanz de Galdeano *et al.*, (1984) muestran que en la

bloques no es plana, lo que impide una reconstrucción geométrica exacta. Si se considera como referencia horizontal la discordancia basal del Tortoniense, la restauración (Fig. 3) sugiere que las fallas de gran buzamiento se iniciaron con un buzamiento próximo a los 75° y la extensión total del sistema de fallas es inferior al 15%, con un salto máximo sobre la Falla de Mecina comprendido entre 1 y 2 km. Al inicio de la reactivación del sistema de fallas, el despegue basal era probablemente curvo. Esta curvatura inicial puede haberse producido durante el inicio de la formación del antiforme de Sierra Nevada, lo que sugeriría que la Falla de Mecina fué reactivada principalmente después de que comenzara a desarrollarse el pliegue y durante el basculamiento de las cuencas asimétricas.

#### Agradecimientos

Agradecemos la colaboración de J. Rodríguez-Fernández, quien nos facilitó datos sobre los materiales neógenos de la zona de estudio. Este trabajo ha sido finan-

ciado por el proyecto PB93-1149-C03-01 de la C.I.C.Y.T.

#### Referencias

- Domingo-García, M., Fernández-Rubio, R., López-González, J.D. y González-Gómez, C. (1983): *Tecniterrae*, 53, 6-16.
- Galindo-Zaldívar, J., González-Lodeiro, F. y Jabaloy, A. (1989): *Geodinámica Acta*, 3, 73-85.
- Galindo-Zaldívar, J., González-Lodeiro, F. y Jabaloy, A. (1993): *Tectonophysics*, 227, 105-126.
- García-Deñás, V., Balanyá, J.C. y Martínez-Martínez, J.M. (1992): *Geo-Mar. Lett.*, 12, 88-95.
- Jabaloy, A., Galindo-Zaldívar, J. y González-Lodeiro, F. (1992): *Geo-Mar. Lett.*, 12, 96-103.
- Jabaloy, A., Galindo-Zaldívar, J. y González-Lodeiro, F. (1993): *Jour. Struct. Geol.*, 15, 555-569.
- Johnson, C. (1993): *Doc. Bour. Rech. Geol. Min.*, 219, 103.
- Lhénaff, R. (1965): *Rev. Geogr. Phys. Geol. Dyn.*, 7, 205-207.
- Monié, P., Galindo-Zaldívar, J., González-Lodeiro, F., Goffé, B. y Jabaloy, A. (1991): *Jour. Geol. Soc. London*, 148, 289-297.
- Riley, Ch. y Moore, J.Mc.M. (1993): *Z. Geomorph.*, 94, 25-39.
- Rodríguez-Fernández, J., Sanz de Galdeano, C. y Fernández, J. (1989): *International Symposium on Intermontane Basins: Geology & Resources, Chiang Mai, Thailand*, 294-305.
- Sanz de Galdeano, C. (1976): In *Reunión sobre la Geodinámica de la Cordillera Bética y Mar de Alborán, Granada*, 197-218.
- Sanz de Galdeano, C. (1983): *Estudios Geol.*, 39, 157-165.
- Sanz de Galdeano, C., Estévez, A., López-Garrido, A.C. y Rodríguez-Fernández, J. (1984): *Estudios Geol.*, 40, 183-191.
- Vissers, R.L.M., Platt, J.P. y Van der Wal, D. (1995): *Tectonics*, 14, 786-803.
- Weijermars, R., Roep, Th.B., Van den Eekhout, B., Postma, G. y Kleverlaan, K. (1985): *Geol. Mijnb.*, 64, 397-411.