

# *Rotaciones paleomagnéticas y deformación en las Cordilleras Béticas*

## Palaeomagnetic rotations and deformation in the Betic Cordilleras

MARÍA LUISA OSETE

Departamento de Física de la Tierra I.  
Facultad de Ciencias Físicas.  
Universidad Complutense de Madrid

### INTRODUCCION

Uno de los avances más relevantes en las últimas décadas en el estudio de la deformación cortical, ha sido el reconocimiento de que hay regiones de la corteza continental que sufren, durante la deformación, rotaciones alrededor de ejes verticales. A este tipo de rotaciones «in situ» se les ha denominado *rotaciones de bloques*. La prueba de la existencia de tales rotaciones ha venido de la mano de los estudios paleomagnéticos. La causa de que estas, relativamente grandes, rotaciones alrededor de ejes verticales hayan sido descubiertas por medio de investigaciones paleomagnéticas y no por estudios estructurales radica en el hecho de que, normalmente, la deformación distribuida no genera rotaciones relativas entre bloques dentro de la zona deformada (McKenzie y Jackson, 1989). El paleomagnetismo utiliza un sistema de referencia externo (los polos magnéticos), mientras que la geología estructural puede detectar rotaciones de cuerpos rígidos allí donde hay cambios relativos de rotación, y en estas zonas frecuentemente las estructuras son complejas. Las investigaciones paleomagnéticas son, pues, los mejores indicadores de estas rotaciones.

Empezaremos por definir el significado que en paleomagnetismo tiene el término *rotación*. Este designa la diferencia ( $R = D_o - D_c$ ), para una época determinada, entre la declinación observada en un estudio paleomagnético ( $D_o$ ) y la esperada en la región ( $D_c$ ), calculada a partir de la *curva de desplazamiento*

*polar aparente* (APW path) del continente o de una zona de referencia «estable».

La primera región donde se detectaron *rotaciones de bloques* fue la costa oeste norteamericana (Beck, 1976; Kamerling y Luyendyk, 1979; Hornafius, 1985, entre otros). Posteriores estudios paleomagnéticos en otras áreas continentales de actividad tectónica reciente (costa oeste suramericana, Mediterráneo, Nueva Zelanda, Filipinas, etc.; ver por ejemplo la recopilación que ofrecen Kissel y Laj, 1989) han puesto de manifiesto que la *rotación de bloques* es una característica importante de la deformación continental. En el caso que nos ocupa, la Cordillera Bética, los trabajos paleomagnéticos que se han realizado (Osete *et al.*, 1988, 1989) y que se están desarrollando actualmente (Allerton *et al.*, 1992, Calvo *et al.*, 1992, Parés *et al.*, 1992 y Villalaín *et al.*, 1992, todos en este volumen) muestran la existencia de grandes rotaciones que han jugado un papel importante en la estructuración de la Cordillera.

## ROTACIONES PALEOMAGNETICAS Y DEFORMACION CONTINENTAL

La existencia de rotaciones paleomagnéticas ha impulsado el desarrollo de nuevos modelos de deformación continental. Uno de los primeros, propuesto para explicar las rotaciones observadas en la costa oeste norteamericana, es el sugerido por Beck (1976), representado esquemáticamente en la figura 1.

Aplicable a una zona de cizalla distribuida, considera que pequeños bloques en la zona de deformación rotan como «rodamientos» entre las dos placas. Según este modelo el sentido de giro de los bloques coincide con el sentido de la cizalla.

Otros modelos señalan la importancia que tiene la orientación previa de un conjunto de fallas subparalelas (*dominios*) en el sentido de giro de los bloques (Garfunkel, 1974; Ron *et al.*, 1984; Garfunkel y Ron, 1985; Nur *et al.*, 1986). En la figura 2 se muestra un esquema representativo de estos modelos. Este mecanismo de deformación tiene dos consecuencias directas: 1) el movimiento de cada falla dentro de un *dominio* está relacionado con la rotación de los bloques que rodea, y 2) las fallas pueden, también, rotar. Un aspecto a resaltar en estos modelos, es que el sentido de rotación de los bloques debe ser opuesto al sentido de movimiento de las fallas que delimitan el bloque. Los bloques rodeados por fallas sinestrales giran en sentido horario (dextral), mientras que los que están delimitados por fallas con movimiento dextral rotan en sentido antihorario. Dentro de este tipo de modelos es posible determinar, por consideraciones mecánicas, la rotación que puede sufrir un conjunto de fallas y cuándo se

desarrolla un nuevo grupo de fallas para acomodar la rotación (Nur *et al.*, 1986, 1989). Nicholson y Seeber (1989) se basan en estos modelos para estudiar rotaciones de bloques contemporáneas en la región del sistema de fallas de San Andrés a partir de datos sísmicos.

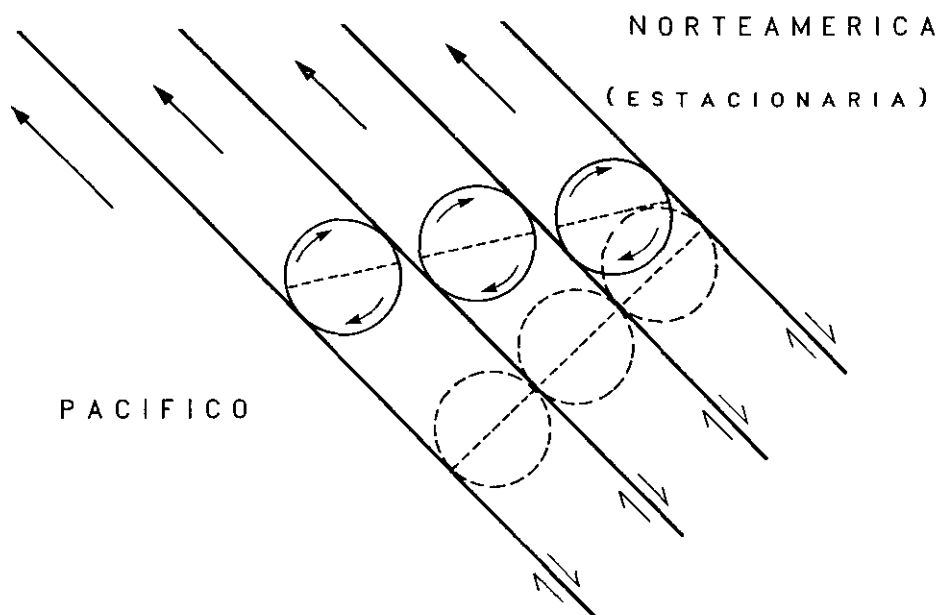


Figura 1.—Esquema en el que se muestran rotaciones en sentido horario de bloques circulares dentro de una zona de cizalla dextral distribuida (Beck, 1976). Este modelo se ha propuesto para explicar las rotaciones paleomagnéticas encontradas en la costa oeste norteamericana.

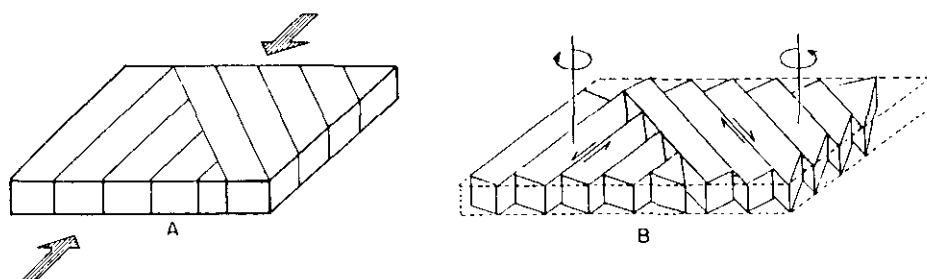


Figura 2.—Según este sencillo modelo la rotación de los bloques depende de la orientación previa de las fallas. a) Situación inicial en la que hay dos regiones (dominios) definidas por la orientación del sistema de fallas. b) Configuración que presenta la región después de la deformación (Ron *et al.*, 1984).

Una de las características principales de la deformación continental, es que la sismicidad, y por tanto la deformación, se distribuye en áreas de centenares de kilómetros. Mckenzie y Jackson (1983) consideran que en estas zonas de deformación distribuida el concepto de rigidez no puede ser aplicado a gran escala. Por el contrario, sugieren que estas regiones se deforman de manera continua. Las placas rígidas transmiten la deformación e imponen las condiciones de movimiento en los bordes. En la figura 4 se muestra un modelo sencillo en el que un conjunto de fallas paralelas toma el movimiento de las dos placas rígidas, de manera que las fallas se desplazan y rotan al mismo tiempo. Los autores aportan dos tipos de geometría para la zona de deformación (Mckenzie y Jackson, 1986). En uno de ellos los bloques están sujetos a las placas rígidas, mientras que en el segundo los bloques se consideran flotantes. El éxito de estos modelos continuos en la descripción de las características generales de la deformación continental está motivado, probablemente, por el hecho de que solamente la corteza superior se deforma de manera frágil. Es razonable, por tanto, que a gran escala la deformación esté controlada por las características fluidas de la corteza superior y manto litosférico.

Por otra parte, con objeto de investigar el mecanismo de la deformación continental, se han llevado a cabo experimentos de laboratorio en materiales de características similares a los de la corteza. Estos experimentos han mostrado la existencia de importantes rotaciones de bloques en distintos contextos tectónicos (Cobbold *et al.*, 1989).

Para finalizar con este breve resumen sobre rotaciones palcomagnéticas y deformación continental es interesante destacar algunos puntos que merecen una

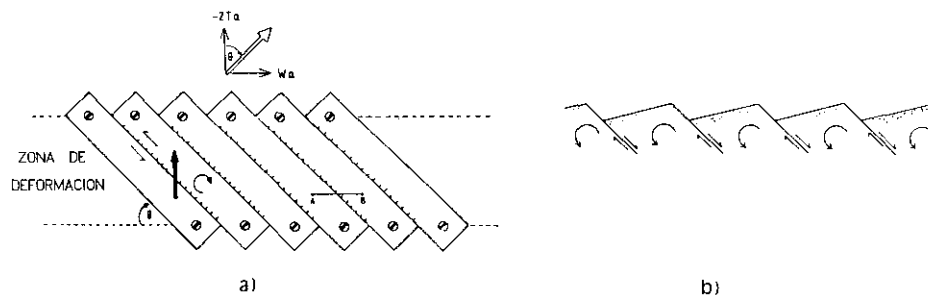


Figura 3.—Modelo de McKenzie y Jackson (1983). a) Visto desde arriba. b) Corte transversal. El movimiento de la placa 1 con respecto a la placa 2 está mostrado por la flecha en blanco. La flecha oscura indica el movimiento relativo entre los bloques. Según este modelo los bloques sufren rotaciones alrededor de ejes verticales y horizontales. El movimiento de las fallas que rodean los bloques tiene componente normal y de salto en dirección sinistral.

investigación detallada para entender el mecanismo por el que se producen estas rotaciones: determinar la forma y tamaño de los bloques e investigar si estos parámetros controlan la velocidad de giro, estudiar la geometría de las fallas que acomodan las rotaciones, estimar la profundidad de los bloques y especificar en qué contexto tectónico las rotaciones son más importantes.

## PRIMEROS RESULTADOS PALEOMAGNETICOS EN LAS BETICAS EXTERNAS

En la tabla 1 se presenta una recopilación de los resultados paleomagnéticos obtenidos en los primeros estudios realizados en las Béticas Externas (Ogg *et al.*, 1984, 1988; Mazaud *et al.*, 1986; Osete *et al.*, 1988, 1989; y Steiner *et al.*, 1987). En dicha tabla no están incluidos los resultados de los trabajos recientes que se presentan en este volumen (Allerton *et al.*, Calvo *et al.*, Parés *et al.*, y Villalaín *et al.*, *ops. cit.*).

TABLA 1  
Datos paleomagnéticos

| Localidad | LAT (N) | LON(W) | N   | DEC   | INC  | $\alpha_{95}$ | R     | Referencia |
|-----------|---------|--------|-----|-------|------|---------------|-------|------------|
| 1. AC     | 37,34   | 4,3    | 14  | 25,8  | 43,0 | 7,6           | 49,3  | 1)         |
| 2. AB     | 37,34   | 4,13   | 6   | 22,1  | 17,4 | 10,4          | 45,6  | 1)         |
| 3. BB     | 37,40   | 3,72   | 11  | 35,9  | 32,4 | 5,4           | 59,4  | 1)         |
| 4. GNV    | 37,50   | 3,65   | 10  | 32,7  | 44,7 | 6,5           | 56,2  | 1)         |
| 5. GNC    | 37,50   | 3,65   | 10  | 36,3  | 38,9 | 12,5          | 59,8  | 1)         |
| 6. GO     | 37,58   | 3,27   | 13  | 68,4  | 11,8 | 7,3           | 91,9  | 1)         |
| 7. SG     | 37,2    | 4,1    | 97  | 323,2 | 30,0 | 2,5           | -13,3 | 2)         |
| 8. C      | 37,5    | 4,3    | 105 | 26,3  | 38,3 | 1,7           | 49,8  | 2)         |
| 9. BJ     | 37,5    | 4,3    | 196 | 53,8  | 47,0 | 2,8           | 77,3  | 3)         |
| 10. BC    | 37,5    | 4,3    | 112 | 59,4  | 42,9 | 4,0           | 82,9  | 3)         |
| 11. BH    | 37,3    | 3,5    | 107 | 75,8  | 46,6 | 8,0           | 99,3  | 3)         |
| 12. VCY   | 38,07   | 1,81   | 21  | 29,4  | 47,6 | 4,4           | 52,9  | 4)         |
| 13. VCZ   | 38,07   | 1,81   | 36  | 72,4  | 47,7 | 3,8           | 95,9  | 4)         |
| 14. SL    | 38,13   | 1,11   | 169 | 111,7 | 46,6 | 3,0           | 135,2 | 5)         |
| 15. SB    | 38,31   | 0,86   | 12  | 167,8 | 47,4 | 7,4           | 191,3 | 6)         |

R: rotación paleomagnética  $R = D_o - D_e$ .

$D_o$ : Declinación obtenida en el estudio paleomagnético.

$D_e$ : Declinación esperada a partir de los datos de la parte sur del Dique de Alentejo-Plasencia (Schott *et al.*, 1981, Osete, 1988).

Referencias: 1) Osete *et al.* (1988), 2) Ogg *et al.* (1984), 3) Steiner *et al.* (1987), 4) Ogg *et al.* (1988), Mazaud *et al.* (1986) y 6) Osete *et al.* (1989).

La edad de las rocas investigadas está comprendida entre el Jurásico Medio y el Cretácico Inferior. Para determinar las rotaciones paleomagnéticas es necesario tomar una dirección de referencia representativa de «Iberia estable». Esta elección resulta difícil porque previamente habría que definir qué regiones de Iberia se pueden considerar «estables» (Osete, 1988), y éste es un problema que todavía no está resuelto. De hecho, en el pasado y aún en la actualidad se están utilizando datos paleomagnéticos obtenidos en zonas de dudosa estabilidad para estudiar la evolución de la Placa Ibérica. En gran medida las dispersiones y contradicciones que se observan en la curva de deriva de los polos de la Placa Ibérica son debidas a la deformación presente en estas zonas no estables. La dirección de referencia jurásica para «Iberia estable» que se ha utilizado en este trabajo se ha determinado a partir de los datos paleomagnéticos de la parte sur del Dique de Alentejo-Plasencia (Schott *et al.*, 1981). No se han considerado los resultados obtenidos en el sector norte del Dique porque éstos pueden estar afectados por rotaciones horarias relacionadas con la deformación del Sistema Central (Vegas, 1988-89).

En la figura 4 se muestra la declinación magnética observada en cada localidad, y en la parte superior la esperada a partir de la obtenida en Iberia «estable». Los resultados paleomagnéticos muestran una rotación, en sentido horario, generalizada en toda la parte central del Subbético, con una excepción: la rotación paleomagnética obtenida en Sierra Gorda es pequeña y en sentido antihorario. Otros estudios paleomagnéticos realizados en esta región (Platzman y Lowrie, 1991) confirman la dirección anómala de Sierra Gorda presentada en este trabajo. Esta dirección paleomagnética puede indicar que Sierra Gorda no ha sufrido giros apreciables, o que ha experimentado rotaciones en sentidos opuestos de manera que el resultado final haga que las rotaciones paleomagnéticas se anulen. Hay que tener en cuenta que la magnitud de las rotaciones encontradas en zonas adyacentes indica que esta zona ha sufrido una gran movilidad, por lo que la segunda posibilidad cuenta también con un alto índice de probabilidad. Sanz de Galdeano (1992, en este volumen) considera que la dirección anómala encontrada en Sierra Gorda se debe a que está rodeada por importantes fallas que han producido notables desplazamientos horizontales.

El número de datos paleomagnéticos de la región oriental presentados en este trabajo es pequeño pero suficiente para indicar que el patrón de la deformación no es tan sistemático como en la región central. Las rotaciones tienen un carácter dextral (12 y 13 en la figura 4), pero la magnitud puede llegar a ser muy grande (14 y 15). Este comportamiento más complejo es corroborado por el estudio sistemático llevado a cabo en el Subbético oriental (Allerton *et al.*, *ops. cit.*).

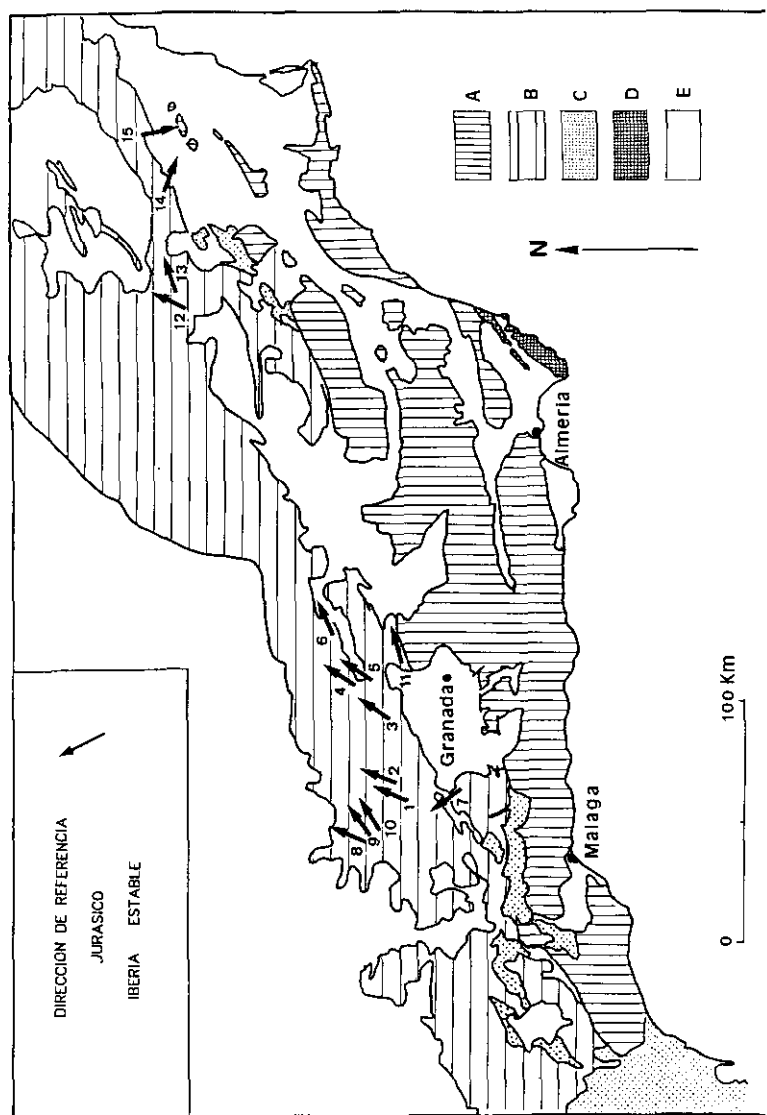


Figura 4.—Mapa geológico (simplificado de López-Garrido y J. A. Vera: en Azema *et al.*, 1979) en el que se representan las direcciones paleomagnéticas. A) Zonas Internas; B) Zonas Externas; C) Unidades del Flysch; D) Rocas volcánicas y E) Neógeno-Cuaternario. Las flechas indican las direcciones paleomagnéticas obtenidas en rocas del Jurásico y del Cretácico Inferior. La situación de las localidades es sólo aproximada (para una mejor localización ver coordenadas en tabla 1). Los números identifican las localidades (ver tabla 1). En el recuadro se muestra la dirección esperada para el Jurásico en Iberia estable (Schott *et al.*, 1981, Osete, 1988).

## DISCUSION

Las direcciones paleomagnéticas anteriormente expuestas reflejan la suma de todos los movimientos a los que ha estado sometida esta zona desde el Jurásico Medio—Cretácico Inferior hasta la actualidad. En la evolución de este segmento de la frontera de placas Eurasia (Iberia)—Africa se distinguen varias etapas a las que se les puede atribuir las rotaciones (Vegas, com. pers.):

- a) Movimiento transtensivo sinestroso entre Iberia (Eurasia) y Africa, desde el Jurásico medio hasta el Cretácico medio y la consiguiente formación de una zona transformante con componente extensional en la margen suribérica y en el norte de Africa (Vegas y Muñoz, 1984).
- b) Movimiento relativo transcurrente sinestroso entre Iberia (Africa) y Eurasia con la formación del dominio cantabro-pirenaico y compresión secundaria en las zonas intermedias situadas entre Africa e Iberia entre el Cretácico superior y el Eoceno medio (Vegas, 1989).
- c) Convergencia entre Eurasia (Iberia) y Africa (con el desplazamiento relativo hacia el Oeste del dominio de Alborán) desde el Eoceno medio al Mioceno medio con la estructuración de las cadenas Atlásicas y la deformación compresiva de la margen suribérica (estructuración de las cadenas Béticas).
- d) Convergencia entre Iberia y Africa en el Mioceno medio con la implantación del cabalgamiento crustal —cabalgamiento de Alborán— (Balanyá y García-Dueñas, 1986) que superpone las Unidades Internas sobre los márgenes suribérico y norteafricano y da lugar a la formación del Arco de Gibraltar.
- e) Extensión de la litosfera entre Africa e Iberia y la formación del mar de Alborán (Aldaya *et al.*, 1984; Balanyá y García-Dueñas, 1987).
- f) Convergencia entre Africa e Iberia desde el límite Plioceno-Cuaternario con la formación de una zona intermedia de deformación y movimientos complejos en fallas que posdatan claramente la tectónica anterior.

Teniendo en cuenta que la deformación más importante del área Bética ha tenido lugar desde el Terciario hasta la actualidad, parece razonable relacionar las rotaciones con estos últimos episodios tectónicos. Los resultados obtenidos en el Subbético occidental indican que, al menos en esta región, las rotaciones paleomagnéticas han tenido lugar con posterioridad al Mioceno Inferior (Villalaín *et al.*, *ops. cit.*). Por tanto, con la información paleomagnética disponible actualmente sobre las Zonas Externas es posible relacionar las rotaciones observadas en las rocas jurásicas y cretácicas con el final de la tectónica de mantos y cabalgamientos que estructuran las cadenas Béticas y el sistema Rif-Tell (c y d) o,

también es posible que las rotaciones de bloques se produzcan en relación con la última fase de la convergencia entre Africa e Iberia (Vegas, 1988-89).

Con objeto de discriminar cuál de los regímenes tectónicos mencionados anteriormente es el responsable de las rotaciones paleomagnéticas encontradas en la región Bética, se ha realizado un estudio paleomagnético sistemático en el volcanismo neógeno de la región del Cabo de Gata (Calvo *et al.*, *ops. cit.*). El planteamiento del trabajo fue sencillo: la región del Cabo de Gata podía ser considerada como un bloque limitado en su parte occidental por la falla de Carboneras, de orientación NE-SW y con movimiento sinistral. Un sistema de fallas de este tipo y con esta orientación si produjera rotación de bloques lo haría en sentido horario según el modelo de Ron *et al.* (1984) representado en la figura 2. En este caso, las rotaciones estarían relacionadas con la última fase de la convergencia entre Africa e Iberia. Si, por el contrario, esta zona no presentara rotaciones significativas, esto implicaría que las rotaciones observadas en el Subbético estarían relacionadas con las fases c y d descritas anteriormente. Los resultados paleomagnéticos obtenidos (Calvo *et al.*, *ops. cit.*) indican que la zona no puede considerarse como un único bloque sino que está fragmentada en pequeños bloques que muestran rotaciones en sentido horario y antihorario. Al presentar un comportamiento rotacional diferente al observado en las Zonas Externas, no es posible extraer de estos resultados conclusiones que puedan extrapolarse al Subbético. Por tanto, aún continúa abierto el problema de determinar el contexto tectónico en el que se han producido las importantes rotaciones que afectan a las Béticas Externas. Si bien, queda claro que en la región de Cabo de Gata se han registrado rotaciones significativas ocurridas durante o con posterioridad al Tortonense.

La interpretación cinemática de las rotaciones paleomagnéticas no puede ser completada si no se identifican las fallas que acomodan la deformación. Incluso cuando se conoce el sistema de fallas y su movimiento, aún persiste la ambigüedad entre la rotación propia del bloque y la rotación de la orientación del campo de esfuerzos responsable del movimiento de las fallas involucradas. Los estudios paleomagnéticos y estructurales realizados en el sistema de fallas de Gmali en Grecia (Pavlides *et al.*, 1988, discutidos por Nur *et al.*, 1989) han permitido sugerir que las rotaciones encontradas en esta región se deben a la rotación de bloques en un campo de esfuerzos de dirección constante. En el Sureste español sería muy interesante relacionar las rotaciones paleomagnéticas con la rotación de la orientación del campo de esfuerzos que se ha observado en esta zona. Sólo la integración de datos paleomagnéticos, estructurales y mecánicos hará posible una reconstrucción detallada de la historia de la deformación cortical en esta región.

## CONCLUSIONES

Todos los estudios palcomagnéticos que se están llevando a cabo en el área Bética, indican la existencia de importantes rotaciones de bloques que han jugado un papel importante en la estructuración de la Cordillera.

Determinar la rotación que ha experimentado una región resulta indispensable cuando se realizan reconstrucciones paleogeográficas, ya que la orientación actual que presentan algunas estructuras, como pliegues y fallas, puede coincidir o no con la disposición que presentaban originalmente. Si no se han cuantificado las rotaciones y se ha determinado si éstas son anteriores o posteriores a la formación de las estructuras, las interpretaciones geodinámicas pueden resultar ambiguas o erróneas.

En la parte central del Subbético (con la excepción de Sierra Gorda que presenta una dirección anómala) el patrón de la deformación es sistemático: *rotaciones horarias. El mismo comportamiento homogéneo de rotaciones dextrales* se ha observado, también, en el Subbético occidental. En esta última región las rotaciones paleomagnéticas se han producido con posterioridad al Mioceno Inferior. La información paleomagnética de que se dispone actualmente no permite determinar si las rotaciones están relacionadas con la tectónica de mantos y cabalgamientos o con las fallas neógenas de salto en dirección.

En la región oriental la deformación es más compleja. En el Subbético las rotaciones (probablemente de carácter horario) pueden llegar a ser muy grandes. En la región de Cabo de Gata se han producido rotaciones de bloques de reducidas dimensiones en sentido horario y antihorario desde el Tortoniense.

## Agradecimientos

Trabajo financiado por la DGICYT (PB89-0141). Publicación número 345 del Departamento de Geofísica.

## REFERENCIAS

- Aldaya, F., J. Campos, V. García-Dueñas, F. González Lodeiro, M. Orozco (1984): «El contacto Alpujárrides/Nevado Filábrides en el vertiente meridional de Sierra Nevada: implicaciones tectónicas», en: *El borde mediterráneo español: Evolución del orógeno Bético y geodinámica de las depresiones neógenas*. Dep. Inv. Geol. CSIC, Univ. Granada, 1, 18-22.
- Allerton, S., J. P. Platt, E. S. Platzman, E. McClelland, L. Lonergan (1992): *Palaeomagnetic study of tectonic rotations in the eastern Betic Cordillera, southern Spain* (este volumen).

- Azema, J., A. Foucault, E. Fourcade, M. García-Hernández, J. M. González Donoso, A. Linares, D. Linares, A. C. López-Garrido, P. Rivas, J. A. Vera (1979): *Las microfacies del Jurásico y Cretácico de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas*. Universidad de Granada.
- Balanyá, J. C., V. García-Dueñas (1986): «Grandes fallas de contracción y de extensión implicadas en el contacto entre los dominios de Alborán y Sudibérico en el Arco de Gibraltar». *Geogaceta*, 1, 19-21.
- (1987): *Les directions structurales dans le Domaine d'Alboran de part et d'autre du détroit de Gibraltar*. C. R. Acad. Sc. Paris. 304. Série II, 929-933.
- Beck, M. E. Jr. (1976): *Discordant paleomagnetic pole positions as evidence of regional shear in the western Cordillera of North America*. *Am. J. of Sci.*, 276, 694-712.
- Calvo, M., M. L. Osete, R. Vegas (1992): *Rotaciones de bloques observadas a partir de resultados paleomagnéticos en la región del Cabo de Gata, Almería* (en este volumen).
- Cobbold, P. R., J. P. Brun, P. Davy, C. Fiquet, C. Basile, D. Gapais (1989): «Some experiments on block rotation in the brittle upper crust», en: *Paleomagnetic Rotations and Continental Deformation*. (Kissel, C., C. Laj, Eds.). Kluwer Academic Publishers, 145-155.
- Garfunkel, Z. (1974): «Model for the Late Cenozoic tectonic history of the Mojave Desert, California, and its relations to adjacent regions». *Geol. Soc. Am. Bull.*, 85, 1931-1944.
- Garfunkel, Z., H. Ron (1985): «Block rotation and deformation by strike-slip faults 2. The properties of a type of macroscopic discontinuous deformation». *J. Geophys. Res.*, 90, 8589-8602.
- Hornafius, J. R. (1985): «Neogene tectonic rotation of the Santa Ynez Range, western Transverse Ranges, California, suggested by paleomagnetic investigation of the Monterey Formation». *J. Geophys. Res.*, 90, 12503-12522.
- Kamerling, M. J., B. P. Luyendyk (1979): «Tectonic rotations of the Santa Monica Mountain region, western Transverse Ranges, California, suggested by paleomagnetic vector». *Geol. Soc. Am. Bull.*, 90, 331-337.
- Kissel, C., C. Laj (1989): *Paleomagnetic Rotations and Continental Deformation*. NATO ASI Series. Series C: Mathematical and Physical Sciences, vol. 254. Kluwer Academic Publishers.
- Mazaud, A., B. Galbrun, J. Azema, R. Enay, E. Fourcade, L. Resplis (1986): *Données magnétostratigraphiques sur la Jurassique Supérieur et la Berriasien du NE des Cordillères Bétiques*. C. R. Acad. Sc. Paris. 302, Série II, 18, 1165-1170.
- McKenzie, D., J. Jackson (1983): «The relationship between strain rates, crustal thickening, palaeomagnetism, finite strain and fault movements within a deforming zone». *Earth Planet. Sci. Lett.*, 65, 182-202.
- McKenzie, D., J. Jackson, (1986): «A block model of distributed deformation by faulting». *J. Geol. Soc.*, London 143, 349-353.

- (1989): «The kinematics and dynamics of distributed deformation», en: *Paleomagnetic Rotations and Continental Deformation* (Kissel, C., C. Laj, Eds). Kluwer Acad. Pub., 17-31.
- Nicholson, C., L. Seeber (1989): «Evidence for contemporary block rotation in strike-slip environments: examples from the San Andreas Fault system», en: *Paleomagnetic Rotations and Continental Deformation* (Kissel, C., C. Laj, Eds.). Kluwer Acad. Pub., 247-280.
- Nur, A., H. Ron, O. Scotti (1986): «Fault mechanics and the kinematics of block rotations». *Geology*, 14, 746-749.
- (1989): «Mechanics of distributed fault and block rotation», en: *Paleomagnetic Rotations and Continental Deformation* (Kissel, C. Laj, Eds.). Kluwer Acad. Pub., 209-228.
- Ogg, J., M. B. Steiner, F. Oloriz, J. M. Tavera (1984): «Jurassic magnetostratigraphy, 1: Kimeridgian-Tithonian of Sierra Gorda and Carcabuey, southern Spain». *Earth Planet. Sci. Lett.*, 71, 147-162.
- Ogg, J., M. B. Steiner, M. Company, J. M. Tavera (1988): «Magnetostrotigraphy across the Berriasian-Valnginian stage boundary (Early Cretaceous) at Ceheguin (Murcia province, southern Spain)». *Earth Planet. Sci. Lett.*, 87, 205-215.
- Osete, M. L. (1988): *Estudio de la remanencia magnética de las rocas de interés paleomagnético en España*. Tesis. Universidad Complutense de Madrid.
- Osete, M. L., R. Freeman, R. Vegas (1988): «Preliminary palaeomagnetic results from the Subbetic Zone (Betic Cordilleras, southern Spain): Kinematic and structural implications». *Phys. of the Earth and Planet. Int.*, 52, 283-300.
- (1989): «Palaeomagnetic evidence for block rotations and distributed deformation of the Iberian-African plate boundary», en: *Paleomagnetic Rotations and Continental Deformation* (Kissel, C., C. Laj, Eds.). Kluwer Acad. Pub., 381-391.
- Parés, J. M., J. O. Pascual, M. García, V. García-Dueñas, J. C. Balanyá (1992): *Resultados paleomagnéticos del Jurásico de Sierra Harana* (este volumen).
- Pavlidis, S. B., D. P. Kondopoulou, A. A. Kilias, M. Westphal, (1988): *Complex rotational deformations in the Serbo-Macedonian massif (Noth Greece): Structural and paleomagnetic evidence: Tectonophysics*, 145, 329-335.
- Platzman, E., W. Lowrie (1992): «Paleomagnetic evidence for rotation of the Iberian Peninsula and the External Betic Cordillera, southern Spain». *Earth Planet. Sci. Lett.*, 108, 45-60.
- Ron, H., R. Freund, Z. Garfunkel, A. Nur (1984): «Block rotation by strike-slip faulting: structural and palaeomagnetic evidence». *J. Geophys. Res.*, 89, 6256-6270.
- Sanz de Galdeano, C. (1992): *Algunos problemas Geológicos de la Cordillera Bética y del Rif (y discusión de varios modelos geotectónicos propuestos)* (en este volumen).
- Schott, J. J., R. Montigny, R. Thuizat (1981): «Paleomagnetic and potassium-argon age

- of the Messejana Dike (portugal and Spain): angular limitation to the rotation of the Iberian Peninsula since the Middle Jurassic». *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 53, 457-470.
- Steiner, M. B., J. Ogg, J. Sandoval (1987): «Jurassic magnetostratigraphy, 3. Bathonian-Bajocian of Carcabuey, Sierra Harana and Campillo de Arenas (Subbetic Cordillera, southern Spain)». *Earth Planet. Sci. Lett.*, 82, 357-372.
- Vegas, R. (1988-89): «Paleomagnetismo y modelos geodinámicos en la Península Ibérica». *Cuad. Geol. Ibérica*, 12, 75-82.
- (1989): «Alpine and recent geodynamic evolution of Iberia: crustal implications». *5th EGT Workshop: The Iberian Peninsula. European Science Foundation*, 77-89.
- Vegas, R., M. Muñoz (1984): «Sobre la evolución geodinámica del borde meridional de la Placa Ibérica». I Congr. Español de Geol., Segovia. 3, 105-118.
- Villalaín, J. J., M. L. Osete, R. Vegas, V. García-Dueñas (1992): Evidencia de una reimanación terciaria en las Béticas occidentales. Implicaciones tectónicas (en este volumen).