

*Datos paleomagnéticos de los márgenes
del surco de Valencia. Papel de las rotaciones
en la estructuración neógena*

Paleomagnetic data from the margins of the Valencia trough.
The role of rotations in the neogene structuration

J. M. PARÉS

Instituto de Ciencias de la Tierra «Jaume Almera».
CSIC, Martí i Franquès, s/n, 08029 Barcelona

E. ROCA

Dpto. Geología Dinàmica, Gf. i Pal.,
Universitat de Barcelona, 08071 Barcelona

R. FREEMAN

Institut für Geophysik, ETH-Hönggerberg, CH-8093, Zurich

ABSTRACT

Reliable paleomagnetic data from the emerged margins of the Valencia Trough include results from Triassic, Jurassic, Paleogene and Miocene rocks. From these data, a clockwise rotation of the Catalan Coastal relative to the western part of Iberia is apparent. In addition, a clockwise rotation is indicated by magnetic directions from the Balearics with respect to those of the Catalan margin. Major Neogene structures in the evolution of the Valencia Trough and thin skinned tectonics, rather than crustal-scale block motions, together play a major role in the evolution of the Balearic Islands, and probably even on a larger scale, of the External Zones of the Subbetic.

INTRODUCCION

Durante la última década, se han llevado a cabo estudios paleomagnéticos en los márgenes del surco de Valencia: Promontorio Balear y costa catalano-valenciana. Los datos del Triásico, Jurásico, Paleógeno y Mioceno-Plioceno, han constituido una base importante en el establecimiento de la evolución del Surco. El objetivo de este artículo es revisar los datos paleomagnéticos actualmente disponibles y discutir su significado en cuanto al modelo de desarrollo del orógeno bético-balear. El objetivo principal de los estudios paleomagnéticos

realizados es detectar y en su caso cuantificar movimientos horizontales (rotaciones más o menos horizontales alrededor de eje vertical: los cambios en latitud son demasiado pequeños para ser detectados con la resolución del paleomagnetismo) asociados con la apertura cenozoica del surco de Valencia. Algunos modelos propuestos (Carey, 1958; Smith, 1971; Dewey *et al.*, 1989; Doblás y Oyarzun, 1990) involucran una gran rotación del Promontorio Balear durante el desarrollo del Surco. Otro problema sin resolver es la evolución particular de Menorca durante el Neógeno: según algunos modelos (Mauffret *et al.*, 1972; Cohen, 1980; Durand-Delga, 1981 y Rehault *et al.*, 1985) Menorca se habría desplazado desde el NW hasta su posición actual durante la rotación y desplazamiento de Córcega y Cerdeña asociado con la apertura de la Cuenca Provenzal. Si Menorca hubiese descrito un movimiento como estas dos islas, entonces los modelos propuestos implican una traslación sin rotación o una rotación antihoraria de Menorca durante el Mioceno Inferior.

El análisis de los datos paleomagnéticos disponibles indica que la tectónica local ha jugado un papel muy importante y que ha de ser detalladamente evaluada y considerada antes de extrapolar las observaciones en un contexto regional. En nuestro caso se observan rotaciones en todas las unidades mayores (pero no en todas las localidades individuales) que han sido estudiadas. Algunas de estas observaciones nos permiten diferenciar varias escalas de bloques limitados por fallas, que han jugado en momentos distintos.

MARCO GEOLOGICO

El surco de Valencia (o Cuenca Catalano-Balear) se sitúa entre la península Ibérica y las islas Baleares, y pertenece al complejo sistema de cuencas con corteza adelgazada creadas en el Mediterráneo durante la orogenia Alpina. Tradicionalmente ha sido interpretado como una cuenca generada por un proceso simple de extensión (Stoekinger, 1976; Mauffret, 1976; Banda y Channel, 1979; Vegas *et al.*, 1980; Rehault *et al.*, 1984; Doblás y Oyarzun, 1990). Sin embargo, los recientes estudios en los márgenes emergidos y de líneas sísmicas sugieren modelos más complejos de evolución (Soler *et al.*, 1983; Fontboté *et al.*, 1990; Roca y Desegaulx, 1991). En estos modelos, se interpretan los rasgos de la Cuenca Catalano-Balear como el resultado de la superposición de estructuras extensivas y compresivas desarrolladas durante el Neógeno. En acorde con estas interpretaciones, distinguiremos dos dominios con distintas características estructurales (Fontboté *et al.*, 1990).

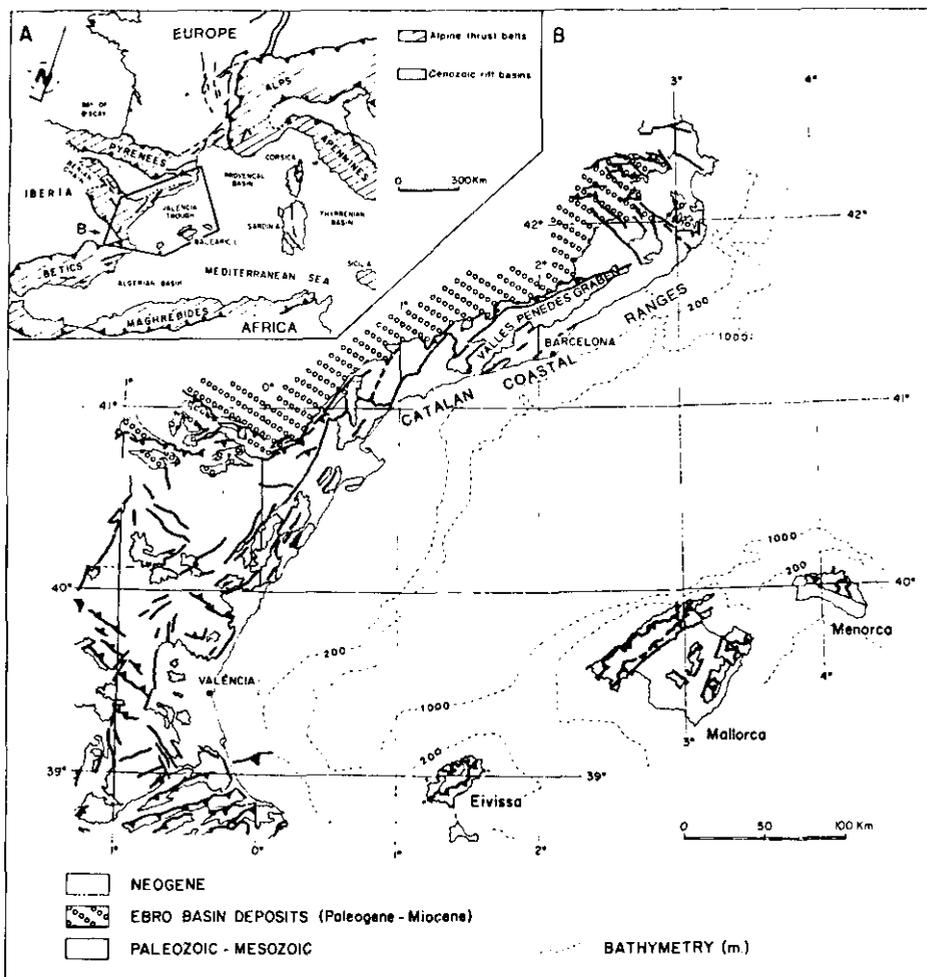


Figura 1.—Esquema geológico de los márgenes del Surco de Valencia. El mapa muestra las principales estructuras cenozoicas del Mediterráneo Occidental (A) y la distribución de los principales rasgos estructurales de los márgenes (B).

Dominio Catalano-Valenciano

Este dominio incluye el margen ibérico (parte SE de la Cadena Ibérica y la Cadena Costera Catalana) y las áreas de mar adentro del surco de Valencia (fig. 1). La estructuración cenozoica tuvo lugar durante dos fases bien diferenciadas:

1. Fase comprésiva N-S paleógena, que causó la inversión de las cuencas mesozoicas pre-existentes en dos sistemas: fallas de desgarre NE-SW

- (Cadena Costera Catalana) y cabalgamiento E-W (parte SE de la Cadena Ibérica) (Guimerà, 1984, 1988).
2. En la segunda fase, que se inició en el límite Oligoceno-Mioceno y se extiende hasta el presente, la compresión es reemplazada por una extensión E-W que causó un sistema de fosas y bloques levantados orientado desde ENE-WSW a N-S. En la Cadena Costera Catalana, esta reestructuración, resultó del movimiento normal de las fallas de desgarre mayores paleógenas (Fontboté, 1954; Anadón *et al.*, 1985).

Dominio Bético-Balear

Este dominio corresponde a la prolongación hacia el NE del cinturón de cabalgamientos y pliegues béticos y comprende las partes más meridionales del margen ibérico (Prebético de Alicante), el Promontorio Balear y las áreas oriental y meridional de la plataforma del surco de Valencia. Este dominio se caracteriza por el desarrollo, durante el Mioceno inferior-medio, de un sistema de cabalgamientos con vergencia al NW al cual le siguió una etapa de tectónica extensional a partir del Serravalliense (Pomar *et al.*, 1983; Alvaro *et al.*, 1984). Como resultado, la estructura presente del dominio Bético-Balear, consiste en un apilamiento de láminas cabalgantes al NW afectado por un sistema de fallas lístricas normales buzando hacia el SE que resultó, muy a menudo, de la inversión de cabalgamientos pre-existentes (Fontboté *et al.*, 1990). Esta compleja estructura neógena, enmascara las características tectónicas del Paleógeno en este dominio.

DATOS PALEOMAGNETICOS

El estado actual del conocimiento del paleomagnetismo de los márgenes del surco de Valencia, deriva del estudio de materiales desde el Devónico al Mioceno superior. No obstante, los datos paleozoicos son todavía muy prematuros y son objeto de estudio. En esta sección se expondrán las características paleomagnéticas que ofrecen los distintos niveles estratigráficos que constituyen los márgenes del surco de Valencia.

La interpretación de los resultados paleomagnéticos en términos de rotaciones, requiere la comparación con direcciones de regiones autóctonas o «para-autóctonas». En el caso de las islas Baleares, se han tomado como referencia las direcciones de la Cadena Costera Catalana y de la Cuenca del Ebro. No obstante, debemos tener presente que previamente ya han sido detectadas rotaciones horarias en estas dos regiones respecto las direcciones de referencia de la Península Ibérica

(Parés *et al.*, 1988), pero este hecho no afecta nuestra comparación de los dos lados del surco de Valencia.

Triásico

Los depósitos triásicos están bien desarrollados a lo largo de la Cadena Costera Catalana, donde se distinguen las facies Buntsandstein, Muschelkalk (con tres unidades litoestratigráficas bien diferenciadas: dos niveles carbonáticos separados por un detrítico rojo) y Keuper. Las facies rojas del Buntsandstein de la Cadena Costera Catalana descansan discordantemente sobre el zócalo paleozoico y, donde se muestrearon, no hay evidencias de despegue de estos depósitos. La dirección de magnetización característica de los afloramientos individuales, muestra una ligera dispersión probablemente debida a la presencia de un componente secundario no eliminado completamente. La dirección media es ($D = 355$, $I = 13$, $\alpha_{95} = 9$) (tabla 1, n.º 1).

El estudio paleomagnético de las calizas del Muschelkalk inferior de la Cadena Costera Catalana, indica que la magnetización es secundaria y adquirida durante el Paleógeno, tal como revelan las pruebas del conglomerado y del pliegue (Parés, 1990). No obstante, las facies rojas que descansan encima, presentan una magnetización primaria muy estable (Banda *et al.*, 1986; Parés *et al.*, 1988). Así, esta última dirección y la obtenida en los depósitos del Buntsandstein, constituyen la dirección triásica de referencia del margen ibérico del surco de Valencia.

Entre las direcciones triásicas del margen ibérico y las de Mallorca, existe una pequeña diferencia angular. Las primeras apuntan al norte, mientras que las segundas están ligeramente desviadas hacia el NNE (fig. 2). Los afloramientos de Buntsandstein del Promontorio Balear, están localizados en Mallorca y más extensamente en Menorca. En Mallorca, las exposiciones están restringidas a las unidades alóctonas de Serra de Tramuntana (Serie I de Fallot, 1922) y están caracterizadas por areniscas rojas. Recientemente, un sondeo reveló la presencia de niveles de calizas, dolomias y evaporitas (Barón *et al.*, 1985) atribuidos al Muschelkalk por debajo de los materiales del Buntsandstein, revelando así su aloctonía (ver discusión en Fontboté *et al.*, 1989). Son varios los afloramientos de Buntsandstein estudiados en Mallorca (Banda *et al.*, 1986), y la media es $D = 10$, $I = 11$, $\alpha_{95} = 6$ (tabla 1, n.º 2). En Menorca, los resultados de cinco afloramientos de areniscas rojas del Buntsandstein, dieron diferencias angulares entre ellos (tabla 2). Esto sugiere que han tenido lugar rotaciones locales de bloques. Incluso así, se observa que la tendencia general es hacia el cuadrante NE (fig. 2, tabla 1).

TABLA 1
Datos paleomagnéticos de los márgenes del surco de Valencia

	<i>Region</i>	<i>Age</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>I</i>	$\alpha 95$	<i>Reference</i>
1	Catalan Coastal Range	Tr.l	3	355	13	9	Banda <i>et al.</i> , 1986
2	Serra de Tramuntana	Tr.l	3	10	11	6	Banda <i>et al.</i> , 1986
3	Menorca	Tr.l	5	28,1	11,8	20,6	this paper
4	Catalan Coastal Range	Tr.m	5	2,1	6,2	5,3	Parés, 1988
5	Catalan Coastal Range	Tr.u	3	6,2	35,3	7,6	Parés <i>et al.</i> , 1988-89
6	Mallorca	J.m-u	5	41,4	48,1	7	Freeman <i>et al.</i> , 1989
7	Menorca	J.m-u	1	32,1	33,3	5	Freeman <i>et al.</i> , in prep.
8	Menorca	J.m-u	1	64,1	50,3	13	Freeman <i>et al.</i> , in prep.
9	Linking Zone	J.u	5	1	49	8,2	Parés <i>et al.</i> , 1988-89
10	Alacant Prebetics	K/T	(17)	3,8	48,2	4,6	Groot <i>et al.</i> , 1989
11			(23)	235	-27,6	3,6	Groot <i>et al.</i> , 1989
12			(22)	13,1	49,7	7,6	Groot <i>et al.</i> , 1989
13	Ebro Basin	E	7	22,7	50,8	5,7	Parés, 1988
14	Ebro Basin	E-O	(22)	10	45		Pascual and Parés, 1990
15				206	-51		Pascual and Parés, 1990
16	Ebro Basin	O-M		5	60		Friend <i>et al.</i> , 1988-89
17	Ebro Basin	Mi.l		3	39	10,5	Turner <i>et al.</i> , 1984
18	Mallorca	Mi.l	2	62,1	45,1	14,2	Freeman <i>et al.</i> , 1988
19	Mallorca	Mi.l	2	61,9	51	8	Parés and Roca, in prep.
20	Vallès-Penedès Graben	Mi.l-u	4	2,3	39,2	16,8	Parés and Roca, in prep.
21	Calatayud-Teruel	Mi.m-u		359	56,5	5	Dijksman, 1977
22	Daroca		(30)	5,8	53,5	4	Dijksman, 1977
23				182	-54,3	4,4	Dijksman, 1977
24	Mallorca	Mi.u	2	22,6	52,5	11,3	Freeman <i>et al.</i> , 1988
25	Mallorca	Mi.u	(11)	14	55	31	Parés and Roca, in prep.
26		Mi.u	(22)	14	41,3	19,8	Parés and Roca, in prep.
27	Menorca	Mi.u	2	38,3	46	22	Freeman <i>et al.</i> , 1988

N: Number of sites, or samples (); D: Declination; I: Inclination; $\alpha 95$: radius of circle of confidence.

Jurásico

Los materiales jurásicos (Batoniense-Bajociense) han sido extensamente estudiados en Mallorca y también en Menorca (fig. 2). El paleomagnetismo de

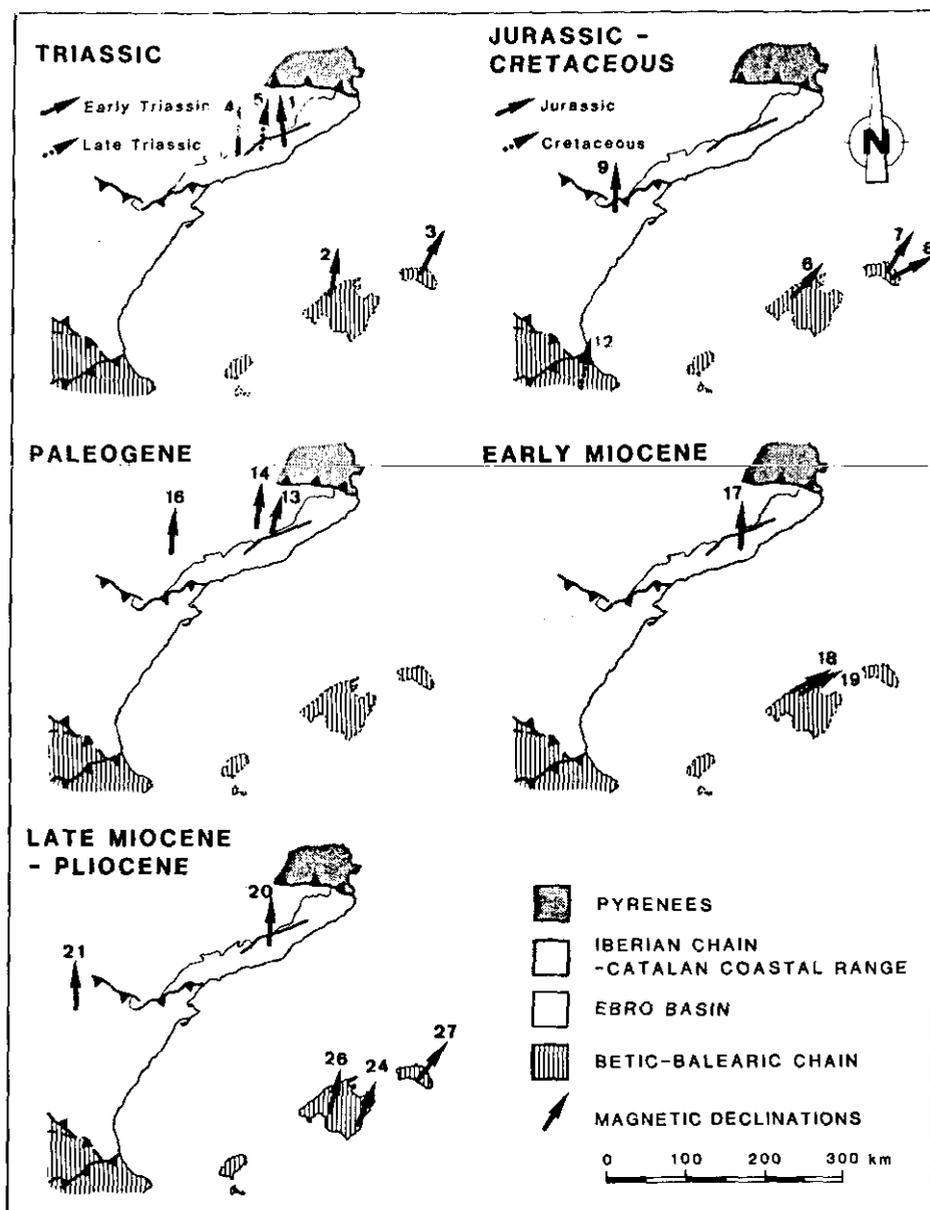


Figura 2.—Declinaciones paleomagnéticas desde el Triásico al Plioceno. Los números se refieren a la tabla 1.

las calizas jurásicas de Mallorca ha sido estudiado por Freeman *et al.*, (1989) a fin de determinar si láminas cabalgantes situadas en la Serie II de Fallot (1922), exhibiendo diferentes direcciones estructurales, habían descrito alguna rotación entre ellas. Después de abatir la estratificación a la horizontal, el círculo de confianza de la media de los afloramientos situados en áreas con dirección estructural NE-SW, se solapa con el correspondiente para las de dirección NW-SE. Esto implica que no ha habido ninguna rotación diferencial, hecho que contrasta con que los ejes de los pliegues de ambas áreas sean casi perpendiculares. La dirección resultante (tabla 1, n.º 5) implica una rotación horaria importante de las láminas cabalgantes de Mallorca después de la adquisición de la magnetización.

El Jurásico de Menorca está siendo paleomagnéticamente estudiado, pero solamente dos localidades han ofrecido magnetizaciones estables y medibles. Estas indican también rotaciones horarias, como en Mallorca (Freeman *et al.*, 1989).

Por lo que se refiere al margen ibérico, la Zona de Enlace (Guimerá, 1988) de la Cadena Costera Catalana con la Cordillera Ibérica ha sido paleomagnéticamente estudiada (Banda *et al.*, 1986). En dicho estudio se seleccionaron cinco localidades de calizas del Titoniense-Berriasiense cuya magnetización es anterior al plegamiento y hacia el norte (fig. 2, tabla 1, n.º 9).

La similitud entre las inclinaciones jurásicas de la Meseta Ibérica (p. e. Schott *et al.*, 1981) y las de las Baleares y Zona de Enlace, y la presencia de ambas polaridades, hacen suponer una edad primaria de la magnetización.

Cretácico

Existe un estudio magnetoestratigráfico en la parte NE del Prebético en el límite Cretácico-Terciario (Groot *et al.*, 1990), el cual incluimos en este trabajo ya que constituye la referencia más oriental en las Béticas. El análisis paleomagnético revela la presencia de tres magnetozonas (tabla 1, n.ºs 10-12). Las direcciones medias de las zonas inversas (235/-27) no son exactamente paralelas a las de las normales (4/48, 13/50), debido a la insuficiente eliminación de un componente secundario normal. Así, las direcciones inversas no son utilizables como direcciones de referencia.

Paleógeno

Los depósitos del Paleoceno al Oligoceno expuestos a lo largo del margen SE de la Cuenca del Ebro han sido estudiados a fin de establecer una dirección de

referencia para el Terciario para el NE de Iberia. Las características magnéticas de las areniscas y lutitas estudiadas han hecho este objetivo posible. Las direcciones paleomagnéticas muestran desviaciones generalizadas hacia el NE. Este hecho y la calidad de los datos en general, han conducido al establecimiento de una buena dirección media de referencia para el margen SE de la Cuenca del Ebro (Parés *et al.*, 1988; Pascual y Parés, 1990).

Neógeno

A lo largo de las islas Baleares pueden diferenciarse dos unidades neógenas: los depósitos del Mioceno inferior, involucrados en la estructura compresiva, y los depósitos del Mioceno superior y posteriores que recubren las estructuras de compresión.

En Mallorca se han estudiado varios afloramientos de depósitos miocenos de las láminas cabalgantes inferiores (Serie I de Fallot, 1922) en la Serra de Tramuntana. Estos materiales son sinorogénicos y se depositaron durante el movimiento y emplazamiento de los cabalgamientos de Mallorca. Así, si las rotaciones que reflejan los materiales jurásicos están relacionadas con el emplazamiento de las láminas cabalgantes bético-baleáricas (Oligoceno superior-Mioceno medio), entonces, los sedimentos del Mioceno inferior deben haber registrado dicho evento. Hasta el momento, han sido estudiados cinco afloramientos de Burdigaliense, tres en sedimentos y los dos restantes en ignimbritas. La dirección de magnetización de las ignimbritas es similar a la de los sedimentos pero el agrupamiento es mucho mejor. En este sentido, se observa que existe una diferencia significativa entre la dirección de las ignimbritas y la del Jurásico sobre el cual descansan.

Los sedimentos del Mioceno superior y Plioceno de las Baleares se encuentran descansando en disconformidad sobre las estructuras compresivas, no se ha detectado ninguna deformación compresiva desde estos períodos de tiempo. De este modo, las direcciones paleomagnéticas de los depósitos neógenos constituyen una aportación importante en la elaboración del mecanismo de rotación de los cabalgamientos. Las determinaciones paleomagnéticas en el Neógeno post-tectónico de las Baleares revelan la presencia de rotaciones en ambos sentidos (horarias y antihorarias), de magnitud a veces importante y que parecen estar relacionadas con las fallas normales que estructuran la isla de Mallorca. En Menorca, parece que se repite la misma situación, aunque las direcciones no están tan bien definidas como en Mallorca.

A fin de comparar las direcciones miocenas de Mallorca y Menorca con las del margen Ibérico, también han sido estudiados los depósitos miocenos de la

fosa del Vallès-Penedès (Parés *et al.*, 1992). Los resultados paleomagnéticos revelan que no ha tenido ninguna rotación significativa desde este período de tiempo. Este resultado encaja con los de Turner *et al.* (1984), Dijkstra (1977) y Friend *et al.* (1988-89), que ya reflejan que por lo menos, desde el Oligoceno superior-Mioceno inferior, la parte NE de la Península no ha sufrido ninguna rotación significativa.

IMPLICACIONES GEODINAMICAS

El conjunto de datos hasta aquí expuestos, revela declinaciones significativamente distintas entre los márgenes catalán y balear del surco de Valencia. Mientras que en el primero no se ha detectado ninguna rotación diferencial interna, el segundo está caracterizado por la presencia de importantes declinaciones rotadas internamente. Así, en adición a la rotación generada por el movimiento cretácico de Iberia que dio lugar a las desviaciones antihorarias de las magnetizaciones anteriores (Van der Voo, 1969; Van der Voo y Zijdeveld, 1971), en Mallorca y Menorca, pueden distinguirse además dos fases de rotación:

1. Fase tardía (Mioceno superior-Plioceno)

Existe una diferencia significativa entre los vectores del Mioceno post-tectónico de Mallorca y del Mioceno de la Cadena Costera Catalana. Mientras que en la primera localidad las declinaciones están rotadas en el sentido horario, en la segunda no existen rotaciones. En Mallorca, se observa una mayor diferencia entre las direcciones de magnetización en los afloramientos cercanos a las principales fallas normales lítricas. Este hecho indica una relación tectónica entre el salto de estas fallas y la rotación de los bloques limitados por ellas.

2. Fase primera (Mioceno medio-inferior)

Una vez restado el efecto de la rotación de la fase tardía, se observa que las direcciones magnéticas de las Baleares permanecen rotadas en sentido horario respecto al margen catalán. Puesto que la dirección burdigaliense está rotada, se deduce que estos depósitos predatan el giro que se observa. Considerando que es durante el Mioceno inferior-medio cuando se desarrolla el sistema de láminas cabalgantes en las Baleares, podríamos esperar un componente rotacional adicional a esta tectónica compresiva. Esta hipótesis está apoyada por el hecho

de observar cambios angulares en las direcciones paleomagnéticas entre diferentes unidades cabalgantes. La existencia de rotaciones en algunas zonas del sector central de las Cordilleras Béticas (Osete *et al.*, 1988), también favorece la idea de rotaciones diferenciales entre unidades cabalgantes.

Por lo que se refiere a Menorca, las características estructurales de las unidades estudiadas y la diferencia que muestran en declinación, nos lleva a hipotetizar que se han muestrado varias láminas cabalgantes; desplazadas y rotadas entre ellas. Así, en base sólo a los datos paleomagnéticos, parece probable la existencia de varias unidades tectónicas movidas entre sí en Menorca. Además, los estudios geológicos (Bourrouilh, 1973, 1983) revelan efectivamente que la estructura de Menorca es coherente con esta tectónica de cabalgamiento.

Una vez restada la rotación neógena horaria, las direcciones resultantes concuerdan con las del margen catalán, a excepción del Triásico de las láminas cabalgantes más inferiores de Mallorca, que implican un giro previo a la compresión burdigalense. En este sentido, ya se han descrito evidencias de deformación compresiva previa al Aquitaniense en Mallorca (Gelabert *et al.*, 1992; Parés *et al.*, 1986).

CONCLUSIONES

Del análisis de las determinaciones paleomagnéticas del Promontorio Balear se desprenden las siguientes consideraciones finales:

1. Las rotaciones muestran diferentes valores en las distintas islas, sugiriendo que parte del giro total está relacionado con la rotación local de bloques de pequeña escala. De hecho, las islas Baleares están constituidas por un apilamiento de láminas cabalgantes despegadas a nivel de Triásico o incluso Paleozoico. Esto implica que no todas las rotaciones mediante el paleomagnetismo indican necesariamente rotaciones de bloques corticales. De hecho existen probablemente tres componentes de rotación: 1) Rotación diferencial de láminas cabalgantes durante el emplazamiento, 2) rotación local de bloques durante movimientos básicamente verticales (p. e. ajustes isostáticos en un campo de esfuerzo no uniforme), y 3) rotaciones de grandes bloques litosféricos (como la rotación del bloque Corso-Sardo).
2. Las características de Menorca son distintas a las reconocidas en la Cadena Costera Catalana y Cerdeña, en el sentido de que estas dos últimas unidades no reflejan ninguna rotación post-aquitaniense. Este hecho y el que todas las rotaciones detectadas en Menorca sean horarias, se contra-

dice con los modelos (Pautot *et al.*, 1973; Mauffret, 1976; Le Cann, 1987; Dewey *et al.*, 1989) que proponen Menorca como un bloque cortical que derivó hacia el SE sincrónicamente y coherentemente con el bloque Corso-Sardo.

3. Sobre la presencia de rotaciones horarias en Mallorca y Menorca se pueden distinguir dos fases: i) Rotación en el Mioceno inferior-medio asociada al emplazamiento de los cabalgamientos bético-baleares, y ii) rotación posterior al Mioceno terminal o Plioceno relacionada con el movimiento de las principales fallas extensionales del Promontorio Balear.

REFERENCIAS

- Alvaro, M., A. Barnolas, P. del Olmo, J. Ramírez del Pozo, A. Simón (1984): «El Neógeno de Mallorca: caracterización sedimentológica y bioestratigráfica». *Bol. Geol. Min.*, 95, 3-25.
- Anadón, P., F. Colombo, M. Esteban, M. Marzo, P. Santanach, Ll. Solé Sugrañes (1979): «Evolución tectonoestratigráfica de los Catalanides». *Acta Geol. Hispánica*, 14, 242-270.
- Anadón, P., L. Cabrera, J. Guimerà, P. Santanach (1985): «Paleogene strike-slip deformation and sedimentation along the Southeastern margin of the Ebro Basin», in: Biddle, K. T., N. Christie-Blick (editors): «Strike-slip deformation basin formation and sedimentation». *Soc. Econ. Paleont. Mineral. Special Publication*, 37, 303-318.
- Banda, E., J. E. T. Channell (1979): «Evidencia geofísica para un modelo de evolución de las cuencas del Mediterráneo occidental». *Estudios geol.*, 35, 5-14.
- Banda, E., J. M. Parés, R. Freeman (1986): «La técnica del paleomagnetismo. Estudio piloto en los bordes de la Cuenca Balear». *Estudios geol.*, 42, 147-165.
- Barón, A., C. González, P. Rosealó (1985): «Sobre la existencia de facies dolomítico-evaporíticas bajo las facies rojas del Buntsandstein de Mallorca», in: Mateu, F., M. Marzo (Eds.): Resúmenes del II Coloquio de estratigrafía y paleogeografía del Pérmico y Triásico de España. La Seu d'Urgell, Lleida (Institut dd'Estudis ilerdens), 16-17.
- Bizon, G., J. J. Bizon, B. Biju-Duval (1978): «Comparison between Formations drilled at DSDP Site 372 in the western Mediterranean and exposed series of Land», in: Hsu, J., L. Montadert *et al.* (Editors): *Init. Repts. DSDP*. U. S. Gov. Print Of, Washington D. C., 42, 897-901.
- Bourrouilh, R. (1973): *Stratigraphie, sédimentologie et tectonique de l'île de Minorque et du Nord-Est de Majorque (Baléares). La terminaison nord-orientale des Cordillères bétiqes en Méditerranée occidentale*. Thèse d'Etat, Paris, 822 pp.

- (1983): «Estratigrafía, sedimentología y tectónica de la isla de Menorca y del nordeste de Mallorca (Balears)». *Mem. Inst. Geol. Min.*, España, 99, 1-672.
- Carey, S. W. (1958): «A tectonic approach to continental drift», in: Carey, S. W. (Editor): *Continental drift: A symposium*. Tasmania Univ., Hobart, pp. 177-355.
- Cherchi, A., L. Montandert (1982): «Oligo-Miocene rift of Sardinia and the early history of the western Mediterranean basin». *Nature*, 298, 736-739.
- Cohen, C. R. (1980): «Plate tectonic model for the Oligo-Miocene evolution of the western Mediterranean». *Tectonophysics*, 68, 283-311.
- Demarest, H. H. (1983): «Error analysis for the determination of tectonic rotation from paleomagnetic data». *Jour. Geophys. Res.*, 88, 4321-4328.
- Dewey, J. F., M. L. Helman, E. Turco, D. H. W. Hutton, S. D. Knott (1989): «Kinematics of the western Mediterranean», in: Coward, M. P., D. Dietrich, R. G. Park (Editors): «Alpine Tectonics». *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 45, 265-283.
- Dijksman, A. A. (1977): *Geomagnetic reversals as recorded in the Miocene red beds of the Calatayud-Teruel basin (Central Spain)*. PhD. Tesis, Utrecht, 156 pp.
- Doblas, M., R. Oyarzun (1990): «The late Oligocene-Miocene opening of the North Balearic Sea (Valencia basin, western Mediterranean): a working hypothesis involving mantle upwelling and extensional detachment tectonics». *Mar. Geol.*, 94, 155-163.
- Durand-Delga, M. (1981): «Ouvertures océaniques de Méditerranée occidentale et dislocation des chaînes alpines», in: Wezel, F. C. (Editor): *Sedimentary Basins of Mediterranean margins*. Tecnoprint, Bologna, pp. 417-431.
- Fallot, P. (1922): *Etude géologique de la Sierra de Majorque*. Thèse Univ., Paris, 420 pp.
- (1948): «Les Cordillères Bétiques». *Estudios geol.*, 8, 83-172.
- Fontboté, J. M. (1954): «Las relaciones tectónicas de la depresión del Vallés-Penedés con la cordillera prelitoral catalana y con la depresión del Ebro». *R. Soc. Hist. Nat.*, Tomo Homenaje al Prof. E. Hernández-Pacheco, 281-310.
- Fontboté, J. M., J. Guimerà, E. Roca, F. Sàbat, P. Santanach (1989): *Para una interpretación cinemática de la génesis de la cuenca catalano-balear: datos estructurales de sus márgenes emergidos*. Libro Homenaje a R. Soler, AGGEP, Madrid, pp. 37-51.
- Fontboté, J. M., J. Guimerà, E. Roca, F. Sàbat, P. Santanach, F. Fernández-Ortigosa (1990): «The Cenozoic geodynamic evolution of the Valencia trough (Western Mediterranean)». *Rev. Soc. Geol. España*, 3, 249-259.
- Fourcade, E., J. Azéma, G. Chabrier, P. Chauve, A. Foucault, Y. Rangheard (1977): «Liaisons paléogéographiques au Mésozoïque entre les zones externes bétiques, Baléares, corso-sardes et alpines». *Rev. Géographie Phys. et Géol. Dynam.*, 19, 377-388.
- Freeman, R., F. Sàbat, W. Lowrie, J. M. Fontboté (1989): «Palaeomagnetic results from Mallorca (Balearic Islands, Spain)». *Tectonics*, 8, 591-608.

- Freeman, R., A. Rodríguez, F. Sàbat (1988): «Neogene clockwise rotation of the Balearic Islands (Spain): Evidence from Palaeomagnetism (Abstract)». *Ann. Geophys.*, Special Issue (EGS XIII Assembly).
- Friend, P. F., S. A. Brazier, L. Cabrera, K. W. A. Feistner, J. Shaw (1988-89): «Magnetic reversal stratigraphy in the Late Oligocene succession of the Ebro Basin, near Fraga, province of Huesca, northern Spain». *Cuad. Geol. Iber.*, 12, 121-130.
- Gelabert, B., F. Sàbat, A. Rodríguez-Perea (1991): «An outline of the Serra de Tramuntana of Mallorca (Balearic Islands)». *Tectonophysics*, in press.
- Guimerà, J. (1984): «Paleogene evolution and deformation in the northeastern Iberian Peninsula». *Geol. Mag.*, 121, 413-420.
- (1988): *Estudi estructural de l'enllaç entre la Serralada Ibèrica i la Serralada Costanera Catalana*. PhD. Thesis, Univ. Barcelona, pp. 600.
- Groot, J. J., R. B. G. de Jonge, C. G. Langereis, W. G. H. Z. ten Kate, J. Smit (1990): «Magnetostratigraphy of the Cretaceous-Tertiary boundary at Agoss (Spain)». *Earth Planet. Sci. Lett.*, 94, 385-397.
- Le Cann, Ch. (1987): «Le diapirisme dans le bassin liguro-proveçal (Méditerranée occidentale)». *Relations avec la sédimentation et la tectonique. Conséquences géodynamiques*. PhD. Thesis, Univ. Bretagne Occidentale, Brest, 296 pp.
- Mauffret, A., J. M. Auzende, J. L. Olivet, G. Pautot (1972): «Le bloc continentale baléare (Espagne). Extension et évolution». *Mar Geol.*, 12, 289-300.
- Mauffret, A. (1976): *Etude géodynamique de la marge des îles Baléares*. PhD. Thesis, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris, VI, 137 pp.
- Mitjavila, J. M., E. Ramos-Guerrero, J. Martí (1990): «Les roches pyroclastiques du Puig de l'Ofre (Serra de Tramuntana, Majorque): position géologique et datation K-Ar.» *C. R. Acad. Sc.*, Paris, 311, 687-692.
- Montigny, R. J. B. Edel, R. Thuzat (1981): «Oligo-Miocene rotation of Sardinia: K-Ar ages and paleomagnetic data of Tertiary volcanics». *Earth Planet. Sci. Letters*, 54, 261-271.
- Osete, M. L., R. Vegas, R. Freeman (1988): «Preliminary paleomagnetic results from the Subbetic Zone (Betic Cordillera, southern Spain): kinematic and structural implications». *Phys. Earth. Planet. Int.*, 52: 283-300.
- Parés, J. M. (1988): *Dades paleomagnètiques del NE de la Placa Ibèrica: Implicacions tectòniques*. PhD thesis, Universitat de Barcelona, 378 pp.
- (1990): «An application of the combined conglomerate-fold test to the study of foreland basins. Paleomagnetic results from the southeastern Ebro Basin». *Geophys. J. Int.*, 99, 223-228.
- Parés, J. M., P. Santanach, F. Sàbat (1986): «La structure des Serres de Llevant de Majorque (Baléares, Espagne): données de la région au Sud de Felanitx». *C. R. Acad. Sc.*, Paris, 303, 475-480.

- Parés, J. M., E. Banda, P. Santanach (1988): «Paleomagnetic results from the southeastern margin of the Ebro Basin (NE Spain): Evidence for a Tertiary clockwise rotation». *Phys. Earth Planet. Int.*, 52, 267-282.
- Parés, J. M., R. Freeman, F. Sàbat (1988-89): «Síntesis de los resultados paleomagnéticos en los bordes de la cuenca catalano-balear». *Cuad. Geol. Iber.*, 12, 59-74, 1988-89.
- Parés, J. M., E. Roca, R. Freeman (1992): «Neogene structural development in the Valencia Trough margins from paleomagnetic data». *Tectonophysics*, in press.
- Pascual, J. O., J. M. Parés (1990): «Estudio preliminar de los materiales comprendidos en el tránsito Eoceno-Oligoceno en el borde SE de la Cuenca del Ebro». *Rev. Soc. Geol. España*, 3, 323-333.
- Pautot, G., J. M. Auzende, J. L. Olivet (1973): «Structural framework of selected regions of the western Mediterranean». Valencia basin, in: Ryan, W. B. F., K. Hsu *et al.*, (Editors): *Init. Repts. DSDP*. U. S. Govt. Print. Of., Washington D. C., 13, 1430-1441.
- Pomar, L., M. Marzo, A. Barón (1983): «El Terciario de Mallorca», en: *El Terciario de las Baleares* (A. Obrador, ed.). Libro-guía de las excursiones al X Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca, 21-42.
- Ramos Guerrero, E., A. Rodríguez-Perea (1985): «Découverte d'un affleurement de terrains paléozoïques dans l'île de Majorque (Baléares, Espagne)». *C. R. Acad. Sci., París*, 301, 1205-1207.
- Ramos Guerrero, E., A. Rodríguez-Perea, F. Sàbat, J. Serra-Kiel (1989): «Cenozoic tectonosedimentary evolution of Mallorca island». *Geodynamica Acta*, 3, 53-72.
- Rehault, J. P., J. Mascle, G. Boillot (1984): «Evolution géodynamique de la Méditerranée depuis l'Oligocène». *Mem. Soc. Geol. It.*, 27, 85-96.
- Rehault, J. P., G. Boillot, A. Mauffret (1985): «The western Mediterranean Basin», in: Stanley, D. J., F. Wezel (Editors): *Geological evolution of the Mediterranean Basin*. Springer-Verlag, New York, pp. 101-130.
- Roca, E., P. Desegaulx (1991): «Geological evolution and vertical movement analysis of the València Trough area (Western Mediterranean)». *Mar. Petrol. Geol.* (submitted).
- Schott, J. J., R. Montigny, R. Thuizat (1981): «Paleomagnetism 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. Sic. Lett.*, 53, 457-470.
- Smith, A. G. (1971): «Alpine deformation and the oceanic areas of the Tethys, Mediterranean and Atlantic». *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 82, 2039-2070.
- Soler, R., W. Martínez, A. G. Megías, J. A. Abeger (1983): «Rasgos básicos del Neógeno del Mediterráneo Español». *Mediterránea, Ser. Geol.*, 1, 71-82.
- Stoekinger, W. (1976): «Valencian gulf offer deadline nears». *Oil and Gas Journal*, 29, 197-204.

- Turner, P. J. P. P. Hirst, P. F. Friend (1984): «A palaeomagnetic analysis of Miocene fluvial sediments at Pertusa, near Huesca, Ebro Basin, Spain». *Geol. Mag.*, 121, 279-290.
- Van der Voo, R. (1969): «Paleomagnetic evidence for the rotation of the Iberian Peninsula». *Tectonophysics*, 7, 5-56.
- Van der Voo, R., J. D. A. Zijdeveld (1971): «Renewed paleomagnetic study of the Lisbon volcanics and implications for the rotation of the Iberian Peninsula». *J. Geophys. Res.*, 76, 3913-3921.
- Vegas, R., J. M. Fontboté, E. Banda (1980): «Widespread Neogene rifting superimposed on Alpine regions of the Iberian Peninsula», in: *Proc. EGS Sym. Evolution and Tectonics of the Western Mediterranean and surrounding areas*. Inst. Geog. Nac. Publ., 201, 109-128.