

Polos Paleomagnéticos de Iberia de los últimos 300 millones de años

Maria Luisa OSETE y Alicia PALENCIA ORTAS

Dpto. Física de la Tierra I, F. de CC. Físicas, U. Complutense de Madrid,
Avda.Complutense, s/n, 28040 Madrid, mlosete@fis.ucm.es

RESUMEN

Se presenta una revisión de los polos paleomagnéticos de Iberia de los últimos 300 Ma. Con objeto de analizar la consistencia del registro paleomagnético y el oceánico, e investigar el movimiento relativo de Iberia con respecto a las Placas Africana y Euroasiática, se compara la curva de Iberia, con la Curva patrón de África y Eurasia de los últimos 200 Ma (Besse y Courtillot, 2002). Los resultados de Iberia discrepan de los africanos en el Periodo Aptiense-Albiense, debido probablemente a que los polos ibéricos corresponden a polos obtenidos de materiales reimanados hace 95-100 Ma. También se observa una contradicción entre los polos ibéricos de 70 Ma y la Curva Patrón de África. Esta diferencia se explica por la asunción errónea de que Iberia se movió solidaria con África entre las anomalías 33-21 (Srivastava et al., 1990) y, por tanto, por la inexactitud de los polos de rotación de Euler obtenidos a partir del registro oceánico.

Los datos paleomagnéticos indican que Iberia tuvo un movimiento similar a la Placa Africana al menos hasta hace 127 Ma. A partir de entonces Iberia rotó con respecto a Eurasia de forma más rápida que la placa Africana. La rotación de Iberia con respecto a Eurasia finalizó hace aproximadamente 70 Ma.

Palabras clave: Paleomagnetismo, placa Ibérica, Curva de Deriva Polar Aparente, anomalías magnéticas oceánicas del Atlántico central, paleorreconstrucciones

Iberian Palaeomagnetic poles for the last 300 Ma

ABSTRACT

A discussion of existing Iberian palaeomagnetic data for the last 300 Ma is presented. In order to analyze the internal consistency between the palaeomagnetic and oceanic record and to investigate the relative movement of Iberia with respect to African and Eurasian Plates, the Iberian Curve for the last 200 Ma is compared with the African and European master Curves of Besse y Courtillot (2002). Aptian-Albian Iberian poles are in disagreement with the African poles. These poles are considered remagnetized at 95-100 Ma. Another discrepancy is observed around 70 Ma. This is explained by the erroneous assumption of Srivastava et al. (1990) that Iberia and African moved together between 33 and 21 anomalies. The Euler poles for these times are, therefore, erroneous.

Palaomagnetic data suggest a similar movement of the Iberian and African Plates up to 127 Ma. Then, Iberia rotated faster than Africa with respect to Eurasia. Iberian rotation (related to Eurasia) ended 70 Ma ago.

Keywords: palaeomagnetism, iberian plate, Apparent Polar Wander Path, central Atlantic ocean magnetic anomalies, palaeoreconstructions.

1. INTRODUCCIÓN

La placa Ibérica ha sido objeto de investigaciones paleomagnéticas desde finales de los años 50 y principios de los 60 (Clegg et al., 1957; Van der Lingen, 1960; Schwarz, 1963). El primer estudio paleomagnético que se llevó a cabo en la Península Ibérica de forma sistemática y que cubrió un amplio espacio de tiempo (desde el Ordovícico hasta el Eoceno) fue el realizado por Van der Voo en 1969. En este trabajo se aporta la primera evidencia paleomagnética de la rotación antihoraria de Iberia (de alrededor de 35°) con respecto a la Placa Europea. Aunque el trabajo de este autor constituye aún una referencia importante y algunos de los polos que determinó siguen siendo hoy de gran calidad, el número de polos calculados fue pequeño y, además, las edades de algunos de los polos han sido modificadas con posterioridad.

Desde entonces, se han realizado un número significativo de estudios paleomagnéticos en la península, pero aún son pocos los polos paleomagnéticos que existen en la actualidad (tabla 1). Por lo que la Curva de Deriva Polar Aparente de Iberia (APWP) aún presenta una distribución temporal muy heterogénea y algunos segmentos de la Curva están todavía pobemente definidos. En este trabajo se discute el estado actual del conocimiento sobre la Curva de Deriva Polar Aparente de Iberia y se compara ésta con las Curvas de las Placas adyacentes.

Tabla 1. Selección de Polos paleomagnéticos de la Placa Ibérica para los últimos 300 Ma.

Sitio	Edad	SLat	Slong	PLat	Plong	dm	dp	ref
Calatrava	Mio.-Plio. (~5 Ma)	38.8	356.0	83.0	170.4	8.4	5.7	1
Valle Penedés	Mio. S. (~11-5 Ma)	41.5	2.0	75.8	174.8	6.4	4.1	2
Ebro	Oligo.-Plio. (~24 Ma)	41.5	0.4	79.6	155.9	7.1	7.1	3
Monchique	70-74 Ma	37.3	-8.5	73	165.5	16.4	9.6	4
Monchique	70-74 Ma	37.3	-8.5	76.9	167.4	5.5	3.4	5
Lisboa Volcánicas	69-76 Ma	38.5	-9.2	72.5	197.0	3.6	2.2	6
Sintra	75-90 Ma	38.8	-9.5	76.5	174	10.0	6.2	7
Algarve Sedimentos	Alb.-Apt. (~112 Ma)	37.0	-8.0	75.5	231.7	8	8	8
Lisboa Sedimentos	Apt. (~116 Ma)	38.8	-9.4	73	226	9.0	5.8	9
Lisboa Sedimentos	Haut.-Barre. (~127 Ma)	38.8	-9.4	57	275	5.9	4.3	10
Algarve Sedimentos	Port.-Val. (~137 Ma)	37.0	-8.0	58.4	255.7	5	5	11
Algarve	Berri. (~140 Ma)	37.0	-8.0	61	252			12
Aguilón Sedimentos	Oxf. (~157 Ma)	41.3	-1.0	55.4	255.4	7.6	4.8	13
S. Ibérico calizas	Oxf. (~157 Ma)	41.0	-1.0	57.8	248.3	4.9	3.08	14
S. Ibérico calizas	Toar. (~185 Ma)	40.6	-1.3	75.4	255.0	7.1	5.1	15
S. Ibérico calizas	Toar. (~185 Ma)	41.0	-0.9	71.0	258.3	9.0	6.4	16

Sitio	Edad	SLat	Slong	PLat	Plong	dm	dp	ref
Dique Messejana-Plasencia	201-205 Ma	39.2	-6.9	70.9	236.2	7.3	7.3	17
Dique Messejana-Plasencia	201-205 Ma	39.2	-6.9	70,5	238,0	3,5	3,5	38
Algarve Redbeds	Triásico S. (~217 Ma)	37.1	-8.4	62	202	9.0	9.0	18
C. Peñas (Cantabria) Redbeds	Triásico S. (~217 Ma)	43.6	-5.8	54	168	8	8	19
Meseta Redbeds	Triásico S. (~217 Ma)	38.8	-3.0	54	178	7	7	20
Ayllón (C. Ibérica)	Car.-Nor. (~221 Ma)	41.2	-3.1	60.1	192.3	6.5	3.5	21
Ayllón (C. Ibérica)	Lad.-Car. (~227 Ma)	41.2	-3.1	58.9	192.7	4.9	2.6	22
Alcázar Redbeds	Lad.-Car. (~227 Ma)	39.0	-3.0	63	177.5	3	3	23
Alcázar (Meseta Sur)	Lad.-Car. (~227 Ma)	39.2	-3.1	62.1	189.9	12.6	6.7	24
Alcaraz (Meseta Sur)	Lad.-Car. (~227 Ma)	38.8	-2.8	57.9	175.6	5.4	2.8	25
Molina (C. Ibérica)	Ani.-Lad. (~234 Ma)	40.9	-2.0	55.1	201.4	4.6	2.4	26
Tudanca (Cantábría) Redbeds	Permotriás (~245 Ma)	43.3	-4.3	51	209	6	6	27
C. Cantábrica Redbeds	Permotriás (~245 Ma)	43.3	-4.5	47	214.5	5.5	5.5	28
Villaviciosa (Cantabria)	Permotriás (~245 Ma)	43.3	-5.5	55	200	11.5	6.0	29
Asturias. Redbeds	Permotriás (~245 Ma)	43.3	-5.5	51	201.5	8.5	8.5	30
C. de Ermita (C. Ibérica)	Aut. (~277 Ma)	41.0	-2.0	49	193	9	9	31
Viar Intrusión (Meseta Sur)	Carb. S.-Per. I. (~286 Ma)	37.6	-5.9	41	208	13.2	6.7	32
Viar Redbeds (Meseta Sur)	Carb. S.-Per. I. (~286 Ma)	37.6	-5.9	42.5	216	6	3.0	33
Burgaco (Portugal)	Carb. S.-Per. I. (~286 Ma)	40.3	-8.3	35.5	211.5	7.1	3.6	34
Atienza (S. Ibérico)	~275-299 Ma	41.1	-2.9	49.6	204.6	2.6	1.3	35
Atienza (S. Ibérico)	~275-299 Ma	41.1	-2.9	42	208	14	14	36
Atienza (S. Ibérico)	~275-299 Ma	41.1	-2.9	35.5	203.0	12.5	6.5	37

Edad: Mio. Mioceno; Plio. Plioceno; Alb. Albienense; Apt. Aptiense; Haut. Hauteriviense; Barre. Barremiense; Port. Portlandiense; Val. Valanginiense; Berri. Berriasiense; Oxf. Oxfordiense; Toar. Toaciense; Lad. Ladinense; Car. Carniense; Ani. Anisiense; Lad. Ladinense; Aut. Autiniense; Carb. Carbonífero; Per. Pérmico; S. Superior; I. Inferior.

Slong y Slat. Longitud y Latitud de los afloramientos; **Plat y Plong.** Latitud y longitud del polo paleomagnético; **dm, dp.** Parámetros estadísticos de error de polo paleomagnético (cuando ambos coinciden, sus valores representan el del A_{95} correspondiente).

Ref. (referencias): 1. Bóbalo et al. (1994); 2. Garcés et al. (1996); 3 Barberá et al. (1996); 4. Van der Voo (1969); 5. Stortvedt et al. (1990); 6. Van der Voo & Zijderveld (1971); 7. Van der Voo (1969); 8. Moreau et al. (1997); 9, 10. Galdeano et al. (1989); 11. Moreau et al. (1997); 12. Galbrun et al. (1990); 13. Steiner et al. (1985); 14. Juárez et al. (1998); 15, 16. Osete et al. (2000); 17. Schott et al. (1981); 18. Parés & Dinarés-Turell (1994); 19. Parés et al. (1996); 20. Parés & Dinarés-Turell (1994); 21. Osete et al. (1997); 22. Ruiz et al. (1999); 23. Van der Voo (1969); 24, 25, 26. Osete et al. (1997); 27. Parés et al. (1996); 28. Schott & Perés (1987b); 29. Parés et al. (1996); 30. Schott & Perés (1987b); 31. Turner et al. (1989); 32, 33, 34. Van der Voo (1969); 35 Osete et al. (1997); 36 Hernando et al. (1980); 37 Van der Voo (1967); 38 Palencia et al. (2006).

2. CONSIDERACIONES PREVIAS PARA DETERMINAR UNA CURVA DE DERIVA DE LOS POLOS DE IBERIA

Cuando se compilan los polos paleomagnéticos de un bloque o una placa, todos los autores utilizan unos criterios de selección, algunos de los cuales son ampliamente aceptados, por ejemplo, el no considerar datos que no hayan sido convenientemente desimanados (práctica habitual en algunos de los primeros estudios paleomagnéticos). Sin embargo otros criterios dependen de los autores y del problema a tratar y no hay un consenso generalizado. En cualquier caso, cualquier criterio de selección debe ser convenientemente descrito. A continuación discutimos algunos de los problemas clave que hay que considerar para determinar la APWP de Iberia.

2.1. DEFINICIÓN DE «IBERIA ESTABLE»

La primera cuestión que hay que resolver cuando se aborda el problema de crear una Curva de Deriva Polar Aparente de una placa o microplaca es determinar qué regiones de la misma son representativas del bloque o placa. En nuestro caso, se trata de definir a qué llamamos placa Ibérica o Iberia «estable». Ésta no es una cuestión obvia, ya que el concepto de placa y de deformación ha ido cambiando con el tiempo, y son muchas veces los propios estudios paleomagnéticos los que definen la coherencia de una región con el bloque continental. En el caso de la Península Ibérica, estudios paleomagnéticos y estructurales han puesto de manifiesto la existencia de importantes deformaciones rotacionales en los bordes de la Placa. Por ejemplo, en las zonas Externas de la Cordillera Bética se han observado importantes rotaciones de bloques de carácter dextral (Osete et al., 1988 Platzman y Lowrie, 1992; Allerton et al., 1993, Villalaín et al., 1994, 1996; Osete et al., 2004, entre otros). Datos paleomagnéticos del Pirineo también indican la presencia de rotaciones significativas (Schott y Peres, 1988 ; Dinarés et al., 1992, Keller et al., 1994, entre otros). En la Cadena Costera Catalana el trabajo de Parés et al. (1988) sugiere que esta región también puede estar afectada por una componente rotacional de carácter dextral. Recientes estudios paleomagnéticos llevados a cabo en el Sistema Ibérico (Juárez et al., 1994, 1998; Osete et al., 1997) han demostrado que hay una consistencia direccional en la mayor parte de la cadena y coherencia con la Meseta, pero que, localmente, se pueden producir rotaciones significativas (de hasta 60°), como por ejemplo las encontradas en la región de Aguatón (Juárez et al., 1996). Algunos autores también han propuesto que la deformación intraplaca puede ser importante en Iberia, y que en el Sistema Central se pueden producir rotaciones de bloques (Vegas et al., 1990). Aunque el reciente trabajo de Palencia Ortas et al. (2006) demuestra que la deformación rotacional de esta región no es significativa. Por último, Parés y Dinarés, en 1994, proponen que una de las posibles explicaciones de la discrepancia direccional observada entre los datos del Algarve (sur de Portugal) y la Meseta, puede

deberse a que la región portuguesa investigada haya sufrido deformaciones rotacionales con respecto a la Meseta.

Esta deformación rotacional, en principio, restringe notablemente el número de afloramientos que son susceptibles de ser investigados para determinar la APWP de Iberia. Sin embargo, dado que las rotaciones alrededor de ejes horizontales no producen variaciones en la paleolatitud, sí se pueden, al menos, utilizar estos datos para definir la evolución en paleolatitud de la Placa Ibérica (Osete et al., 2000).

2.2. PRESENCIA DE IMPORTANTES REIMANACIONES

Trabajos paleomagnéticos llevados a cabo durante los últimos 10 años han demostrado que una gran mayoría de los afloramientos mesozoicos de la Península Ibérica están afectados por fuertes reimanaciones, y que, muchos de los polos paleomagnéticos que fueron determinados en los años 70 no pueden utilizarse para obtener una APWP de la placa ibérica, ya que están relacionados con eventos térmicos o químicos secundarios (como los datos jurásicos de Stauffer y Tarling, 1971 y Vanderberg, 1980).

Schott y Peres (1987a, b) muestran la existencia de reimanaciones parciales durante el terciario en las rocas triásicas de la Cordillera Cantábrica y en rocas de edad Cretácico Inferior de la región de Cameros. Por otra parte, Turner et al. (1989) señalaron la existencia de reimanaciones importantes en gran parte de los materiales triásicos de la región de Molina de Aragón. Sin embargo, más tarde Rey et al. (1996) y Osete et al. (1997) demostraron que algunos afloramientos triásicos de la Cordillera proporcionan datos paleomagnéticos fiables. Juárez et al. (1994, 1998) han demostrado que la mayor parte de las calizas de edad oxfordiense de la cordillera ibérica sufrieron una importante reimanación durante el Cretácico. Sin embargo, estos autores también han demostrado que un pequeño porcentaje de la imanación total de las muestras (alrededor de un 10-20%) es de origen primario.

Galdeano et al. (1989) observaron que la mayor parte de las calizas de edad jurásica de la región de Lisboa han sido completamente reimanadas y Moreau et al. (1992) también han mostrado que las calizas atribuidas al Cretácico Inferior del Maestrazgo han sufrido intensas reimanaciones durante el Cretácico Superior. En la región de Cameros, Villalaín et al. (2003) han descrito la presencia de un importante evento que reimanó gran parte de los materiales cretácicos de esta zona.

Por último, se ha demostrado que en el Subbético occidental las calizas del jurásico superior presentan una reimanación parcial de edad neógena (Villalaín et al., 1994, 1996). Sin embargo, la existencia de esta reimanación secundaria, convenientemente corregida, ha permitido a Villalaín et al. (1995) demostrar que las rotaciones destrales observadas en el Subbético occidental se produjeron con posterioridad al evento que produjo la reimanación neógena, y que esta región, desde el Jurásico Superior hasta el Neógeno, fue solidaria a la Placa Ibérica.

2.3. DETERMINACIÓN PRECISA DE LA EDAD DE LAS FORMACIONES INVESTIGADAS

Para definir una Curva de Deriva de los Polos de Iberia de aceptable precisión es necesario disponer no sólo de datos paleomagnéticos de buena calidad, sino también controlar la edad de las rocas investigadas. Por ejemplo, el polo obtenido por Van der Voo (1967) en la región de Alcázar de San Juan fue considerado inicialmente de edad Triásico Inferior, posteriormente se ha revisado la edad de estas secciones y se han atribuido al Triásico Superior. Lo mismo ha sucedido con el polo que obtuvo a partir de las andesitas de la región de Atienza. Estos materiales fueron considerados inicialmente de edad Silúrica y posteriores estudios radiométricos proporcionaron edades en torno a los 290 Ma. (Hernández et al., 1980).

El problema de obtener una datación precisa es particularmente importante cuando se investigan sedimentos de edad triásica. De hecho algunas de las discrepancias entre las curvas de deriva de los polos de Iberia propuestas por Schott en 1988 y por Van de Voo en 1993 estuvieron relacionadas con este problema (Osete et al., 1997). Y las diferencias direccionales entre los datos del Algarve del Triásico Superior y los del resto de la Placa Ibérica podrían también estar asociadas con una mala definición de la edad de las rocas investigadas en el Sur de Portugal (Parés y Dinarés, 1994).

3. EL SEGMENTO CARBONÍFERO-PERMICO-TRIÁSICO

Este segmento de la APWP de Iberia ha sido discutido por Parés y Dinarés (1994) y Osete et al. (1997), dado que existían en la literatura dos propuestas contradictorias: la APWP propuesta por Schott (1988) y la selección de polos paleomagnéticos realizada por Van der Voo (1993).

Schott (1988) propuso una APWP para Iberia desde el Carbonífero hasta el Mioceno. Consideró 11 polos, incluyendo dos polos permo-triásicos de la Cordillera Cantábrica (Vanderberg, 1980; Schott y Peres, 1987b) y un polo jurásico (Steiner et al., 1985) y otro cretácico (Schott y Peres, 1987a) de la Cordillera Ibérica. Desechó el polo determinado por Van de Voo (1967) en el Sur de la Meseta (Alcázar de San Juan) por desviarse de los otros polos paleomagnéticos de edad permo-triásica.

Van der Voo (1993) realizó una revisión de los polos paleomagnéticos publicados y les asignó un factor de calidad. La consideración de los polos con un factor de calidad $Q \geq 3$, proporciona un segmento Carbonífero-Triásico de la curva de Iberia completamente diferente a la propuesta por Schott (1988). Tuvo en cuenta los polos determinados en la Cadena Costero-Catalana (Parés et al., 1988), que pueden estar afectados por rotaciones locales, y consideró el polo Triásico Superior del sur de la meseta.

Las dos propuestas se diferencian, básicamente, en la consideración o no del polo de edad triásico Superior de Alcázar de San Juan. Van der Voo (1993) justi-

ficó la curva propuesta por comparación con la curva de Norteamérica, donde se observa un «pico» (triassic cusp) en este periodo.

Dos trabajos abordaron este problema de forma independiente, llegando a soluciones similares: el llevado a cabo por Parés y Dinarés (1994) y el realizado por Osete et al. (1997).

Parés y Dinarés (1994) realizaron un estudio intensivo de sedimentos rojos triásicos del Algarve (sur de Portugal) y del sur de la Meseta. La edad de los materiales estudiados fue considerada Triásico Superior, aunque los sedimentos investigados carecían de una cronología precisa. Sus resultados confirmaron el polo paleomagnético de Alcázar de San Juan obtenido por Van der Voo (1967). Por otra parte, encontraron una discrepancia angular de 15° entre los datos del sur de la Meseta y del Algarve. Esta diferencia angular puede estar relacionada con una diferencia en edad, es decir, los dos polos no representan el mismo paleocampo Triásico; o puede deberse a rotaciones diferenciales. En este último caso la región del Algarve no sería representativa de Iberia «estable».

Osete et al. (1997) llevaron a cabo un estudio paleomagnético en formaciones bien datadas que cubrían el lapso Carbonífero-Triásico Superior del sur de la Meseta y del Sistema Ibérico. Después de comprobar que la región investigada en el Sistema Ibérico, podía ser considerada iberia «estable» y de realizar una revisión de los polos paleomagnéticos previos, obtuvieron un segmento coherente de la APWP de Iberia, consistente con el propuesto por Van der Voo (1993) y por Parés y Dinarés (1994). El nuevo polo obtenido por Ruiz Martínez et al. (1999) en un estudio magnetoestratigráfico de una sección datada como Ladiniense-Carniense, confirma los anteriores datos.

Aunque las discrepancias iniciales del tramo Carbonífero-Triásico Superior están resueltas, el número de polos aún es pequeño y no existen hasta el momento, polos paleomagnéticos Ibéricos para el Triásico Inferior.

4. EL SEGMENTO JURÁSICO

Existen 6 polos paleomagnéticos de edad jurásica en la placa Ibérica (ver tabla 1). Tres investigaciones llevadas a cabo en el dique de Messejana-Plasencia (Schott et al., 1981; Perrin et al., 1991; Palencia Ortas et al., 2006) a partir de las cuales se han publicado dos polos para el Jurásico Inferior. Dos polos paleomagnéticos obtenidos a partir de estudios magetoestratigráficos llevados a cabos en calizas de edad Oxfordense (Jurásico Superior) del Sistema Ibérico (Steiner et al., 1985; Juárez et al., 1998). Y dos polos obtenidos de dos secuencias magnetoestratigráficas de calizas de edad Toarcense (Jurásico Medio) de la Cordillera Ibérica (Gialanella et al., 1998; Osete et al., 2000).

En 1981, Schott y colaboradores, realizaron un estudio detallado del dique de Messejana-Plasencia, dique de naturaleza toleítica que se extiende alrededor de 600 Km por la Península Ibérica con una dirección N-NE, desde el sur de Portugal (Algarve) hasta el borde norte del Sistema Central. Durante más de una década este polo fue la única referencia palaeomagnética para el Jurásico Inferior

de la placa Ibérica. Sin embargo, el origen de la magnetización del dique fue puesto en duda por Juárez et al. (1996), quienes pusieron de manifiesto algunas de las debilidades de este polo: por una parte su similitud con los polos de edad cretácica de Iberia, y, en concreto, con el polo obtenido a partir de una componente secundaria (reimanación) de gran escala observada en el Sistema Ibérico; por otra parte, la contradicción observada entre el rango de edad considerado para la intrusión (134 ± 4 Ma y 209 ± 6 Ma) y la exclusiva presencia de polaridades normales, cuando éste es un periodo de polaridad mixta del campo geomagnético (Gradstein et al., 1994).

Recientemente, Palencia Ortas et al. (2006), han abordado un nuevo estudio paleomagnético en el dique de Messejana-Plasencia. Los resultados de este último trabajo indican que: 1) al menos existen dos fases intrusivas, una fase breve de gran magnitud que tuvo lugar en torno a los 202.8 ± 2.0 Ma (Sebai et al., 1991, Rapaille et al., 2003) y que tuvo una duración de alrededor o inferior a 1 Ma, y una fase posterior, observada en la región portuguesa de Juromenha, asociada a diques de escala centimétrica; 2) el primer episodio tuvo lugar en una época de polaridad normal del campo geomagnético, mientras que, durante el segundo, el campo geomagnético tuvo una polaridad invertida; 3) del estudio de magnetismo de rocas realizado se concluye que no hay evidencias de que el dique pueda estar reimanado. El nuevo polo aportado cumple 5 de los 7 criterios de calidad de Van der Voo (1993) y se presenta en la tabla 1. Los autores señalan, también, que los datos obtenidos en el dique de Messejana Plasencia son similares a los observados en otras regiones de la provincia magmática del atlántico central (CAMP, Central Atlantic Magmatic Province). Por último, los autores agrupan las direcciones obtenidas según las diferentes regiones tectónicas que atraviesa el dique (Sistema Central, Algarve, etc), no obteniendo diferencias estadísticamente significativas, por lo que concluyen que la región atravesada por el Dique no ha sufrido una importante deformación rotacional relativa desde el Jurásico.

Teniendo en cuenta este último estudio, y los datos de Parés y Dinarés (1994), podemos excluir el origen tectónico para explicar las diferencias direccionales observadas entre los datos triásicos de la Meseta y del Algarve.

Gianella et al. (1998) realizaron un estudio magnetoestratigráfico en dos secciones de calizas de edad toarciana en la Cordillera Ibérica. A pesar de observar una reimanación parcial de características similares a las descritas por Juárez et al. (1998), pudo determinarse la componente original. Las dos secciones presentan una buena correlación magnetoestratigráfica que corrobora la correlación bioestratigráfica. El trabajo aporta una prueba del pliegue regional positiva y una prueba de inversión también positiva. Los polos obtenidos en este estudio fueron utilizados para definir la paleolatitud de Iberia durante este piso del Jurásico Medio (Osete et al., 2000) y están recogidos en la tabla 1. Posteriores investigaciones paleomagnéticas en otras secciones de edad toarciana del Sistema Ibérico (Sierra de Albaracín y Ricla) no han dado los resultados paleomagnéticos esperados, pues la magnetización está dominada por una componente secundaria y no se pudo aislar la componente jurásica (Palencia Ortas, 2004).

Juárez et al. (1996) llevaron a cabo un estudio paleomagnético preliminar en calizas de edad calloviense de la Cordillera Ibérica (Zona Aragonesa), pero los materiales investigados no presentaron un comportamiento magnético adecuado (baja intensidad e inestable imanación), por lo que no se pudo determinar un polo paleomagnético a partir de estas formaciones.

Steiner et al. (1985) realizaron un estudio magnetoestratigráfico en la región de Aguilón (Zaragoza). Investigaron 4 secciones obteniendo una buena correlación magnetoestratigráfica y aportaron una prueba del pliegue positiva. El polo paleomagnético obtenido se recoge en la tabla 1.

Los trabajos de Juárez et al. (1994, 1995, 1996 y 1998) realizados en secciones datadas como oxfordienses de la Cordillera Ibérica indican que existe un gran evento que reimanó parcialmente todas las secciones investigadas. A partir de información estructural y paleomagnética sitúan este evento entre los 125 y los 90 Ma. Estos autores también investigaron una amplia región de la Cordillera, y observaron una coherencia direccional en gran parte de la cadena. Aunque también obtuvieron rotaciones locales de gran magnitud en las proximidades de Pozuel y Aguatón. Por último, determinaron un polo paleomagnético para el Oxfordiense de gran calidad puesto que realizaron también un estudio magnetoestratigráfico en seis de las secciones y obtuvieron una buena correlación magnetoestratigráfica y bioestratigráfica, lo que indica una buena consistencia interna de los datos.

5. EL SEGMENTO CRETÁCICO

El primer estudio paleomagnético sistemático realizado en sedimentos de edad cretácico inferior fue el llevado a cabo por Schott y Peres en 1987 en la región de Cameros. Estos autores observaron que la remanencia magnética era una compleja suma de componentes (multicomponente). Algunas de estas componentes fueron interpretadas como reimanaciones producidas durante el Cretácico Superior y otras durante el Terciario. A partir de la componente que consideraron primaria, propusieron un polo para el Cretácico Inferior que implicaría una latitud muy baja para la placa Ibérica o un comportamiento anómalo del campo magnético terrestre durante este periodo. Este polo ha sido considerado anómalo por todos los grupos que han investigado posteriormente este segmento de la curva de Iberia. Recientes estudios paleomagnéticos llevados a cabo en esta región demuestran que todos los sedimentos de esta edad investigados están fuertemente reimanados (Villalaín et al., 2003), por lo que este polo también es descartado en esta revisión.

Los polos para el Cretácico Inferior que se discutirán en este trabajo son los obtenidos por Galdeano et al. (1989), Galbrun et al. (1990) y Moreau et al. (1992, 1997), recogidos en la tabla 1.

Galdeano et al. (1989) investigaron 18 localidades en los alrededores de Lisboa. Muestrearon fundamentalmente calizas, pero también algunos afloramientos ígneos de edades comprendidas entre el Oxfordiense y el Cenomaniense. Observaron que la mayor parte de los materiales jurásicos estaban reimanados, y

asociaron la reimanación a la presencia de sulfuros de hierro en algunas de las lito-lógias investigadas. Consideraron que la reimanación de las calizas del Jurásico Superior y del Valanginiense se produjo antes del Hauerivense. La presencia de una componente estable asociada a la magnetita fue considerada por los autores como una componente original. Los autores aportan un polo para el Hauerivense-Barremiense (2 sitios) y otro polo para el Aptiense (obtenido también a partir de 2 sitios) que están recogidos en la tabla 1. Finalmente, los autores concluyen que la rotación antihoraria de Iberia con respecto a Eurasia es de 41°, y que entre los 125-110 Ma se produjo una rotación de 27°, y, posteriormente, una rotación 14°.

En la región del Algarve, Galbrun et al. (1990) realizaron un estudio magnetoestratigráfico en materiales sedimentarios de edad Berriense. El polo obtenido se lista en la tabla 1. La presencia de polaridades normales e invertidas es una información muy valiosa que excluye la posibilidad de que las secciones investigadas estén completamente reimanadas. Por otra parte, la región se considera representativa de Iberia «estable» a partir de los resultados del estudio de Palencia Ortas et al. (2006).

Moreau et al. (1992) investigaron 16 secciones sedimentarias de edades comprendidas entre el Jurásico Superior y Cretácico Inferior-Medio de la región del Maestrazgo. Observaron la presencia de importantes reimanaciones de los materiales jurásicos que consideraron de edad valanginiense. Obtuvieron dos polos que consideraron válidos, uno para el Barremiense/Aptiense y otro para el Aptiense/Albiense.

En 1997, Moreau y colaboradores llevaron a cabo un estudio paleomagnético en la región del Algarve, obteniendo un polo para el Portlandiense-Valanginiense y otro para el Aptiense/Albiense. De la comparación de la APWP de Iberia con las de las Placas Africana y Euroasiática, concluyen que antes de 130 Ma las placas Ibérica y Africana describieron una trayectoria similar con respecto a Eurasia. Posteriormente, la placa Ibérica rota más rápidamente con respecto a Eurasia que la placa Africana, terminando su rotación en torno a los 75 Ma. Estos autores consideran, además, que la rotación se produce en torno a dos polos, uno cercano (entre los 130-115 Ma) y otro lejano en el Cretácico Superior.

Los estudios paleomagnéticos llevados a cabo en materiales ígneos de edad Cretácico Superior se concentran en la región central de Portugal y fueron llevados a cabo por Van der Voo (1969), Van der Voo y Zijderveld (1971) y Storetvedt et al. (1987, 1990). Las dataciones de algunos de estos afloramientos han cambiado con posteriores estudios radiométricos, las edades revisadas son las que se muestran en la tabla 1. Aunque hubo cierta discrepancia entre los datos obtenidos en estas regiones (ver discusión en Van der Voo 1993), los datos que se recogen en este trabajo se consideran representativos de Iberia «estable».

6. EL SEGMENTO TERCIARIO

Se han realizado numerosos estudios magnetoestratigráficos en la región de la Cuenca de Ebro (Parés et al., 1988: Ebro-borde oriental; Pascual y Parés, 1990:

Ebro-Noreste; Barberá et al., 1996; Pérez-Rivarés et al., 2003: Ebro-sector central) pero el número de polos obtenido de ellos aún es escaso. Todos estos trabajos cumplen la mayoría de los criterios de fiabilidad definidos por Van der Voo (1993) y no ha habido en la literatura importantes discusiones sobre ellos, o importantes contradicciones en lo que respecta a los polos. Se incluye también el polo obtenido por Garcés et al. (1996) en el Valle del Penedés, pues si bien parece que en algunas regiones de la Cordillera Costero-Catalana se observaron pequeñas rotaciones (Parés et al., 1988), en las partes centrales de las cuencas no se observa una deformación rotacional significativa. Por último, se incluyen los datos de Bógalo et al. (1994) obtenidos en la región de Calatrava.

7. LA CURVA DE DERIVA POLAR APARENTE DE IBERIA

En la Tabla 1 se muestran los polos paleomagnéticos considerados válidos para la obtención de la Curva de Deriva Polar Aparente de Iberia. La selección de polos paleomagnéticos se ha realizado con el siguiente criterio: 1) que haya razonables indicadores de que la imanación sea original; 2) que los polos se hayan obtenido a partir de estudios paleomagnéticos realizados en zonas de «Iberia estable»; se han eliminado, por tanto, los trabajos realizados en las Cordilleras Béticas, Pirineos y Cordillera Costero Catalana; 3) que la edad de la formación esté definida); 4) que los datos paleomagnéticos se hayan obtenido tras un tratamiento de laboratorio adecuado y una correcta interpretación de los resultados paleomagnéticos y 5) que los polos tengan un semiángulo de confianza $\alpha_{95} < 16^\circ$. Estos son, en esencia, los criterios de fiabilidad definidos por Van der Voo (1993).

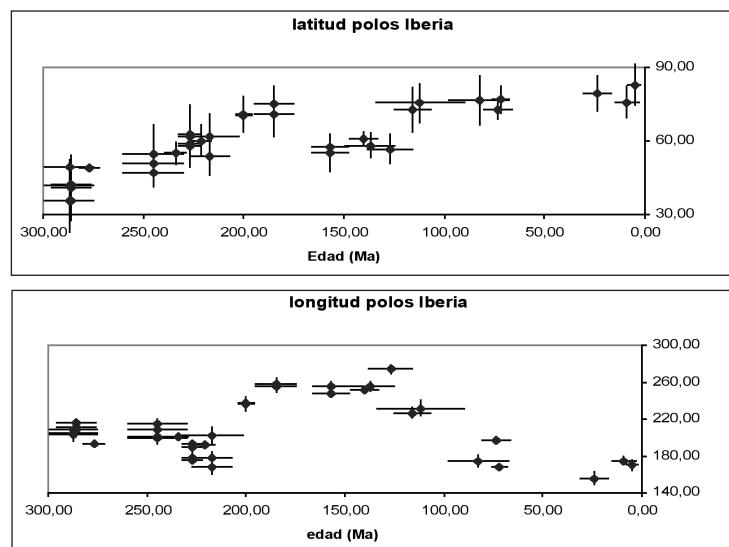


Figura 1. Representación paramétrica de la Curva de de Deriva Polar Aparente de Iberia de los últimos 300 Ma.

En la figura 1 se muestra la variación de la posición de los polos paleomagnéticos de Iberia con el tiempo para los últimos 300 Ma.

8. COMPARACIÓN DE LA CURVAS DE IBERIA, ÁFRICA Y EURASIA

Recientemente, Besse y Courtillot (2002) han determinado una Curva de Deriva Polar Aparente sintética patrón para la Placa Africana para los últimos 200 Ma. Para ello han considerado los datos paleomagnéticos de mejor calidad de las placas Sur-Americana, Norte-Americana, Euroasiática, India, Australia, Antártica, Groenlandia y de la propia placa Africana. Los polos obtenidos en cada placa han sido trasladados a África considerando los Polos de Euler y los ángulos de rotación derivados del estudio de las anomalías magnéticas y de las fallas transformantes oceánicas.

Compararemos aquí los resultados de Iberia con la Curva Patrón de Besse y Courtillot (2002), por lo que limitaremos la discusión a los últimos 200 Ma. Periodo que, por otra parte, es el de mayor interés tectónico.

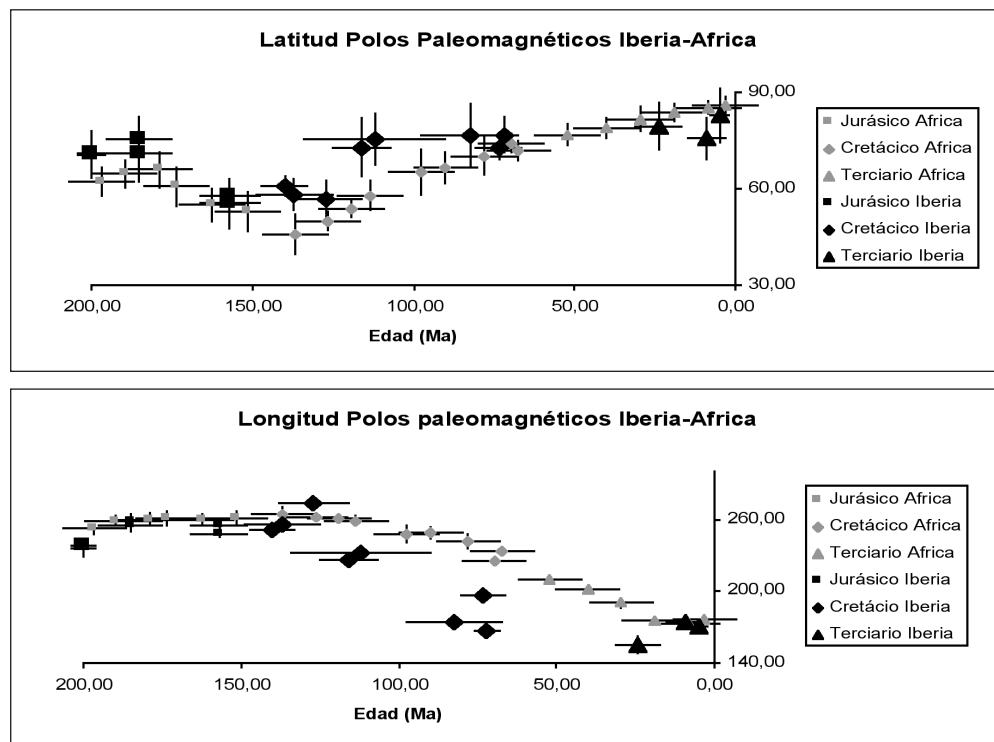


Figura 2. Curvas de Deriva Polar Aparente de Iberia y África (curva patrón) para los últimos 200 Ma. En negro se representan los datos de Iberia y en gris los de la placa Africana.

En la figura 2 se representan las APWP de Iberia y África. Se puede observar que los polos jurásicos ibéricos y Africanos son casi indistinguibles, las dos Curvas presentan una tendencia similar hasta aproximadamente el Berriasiense (140 Ma). Incluso el polo Barremiense (125 Ma) determinado por Galdeano et al. (1989) parece seguir la misma tendencia que los polos africanos, aunque sería necesario contrastar este hecho, pues sólo se dispone de un dato para esta edad. A partir de este momento la tendencia de las curvas son similares, pero la placa Ibérica rota más rápidamente que la Africana.

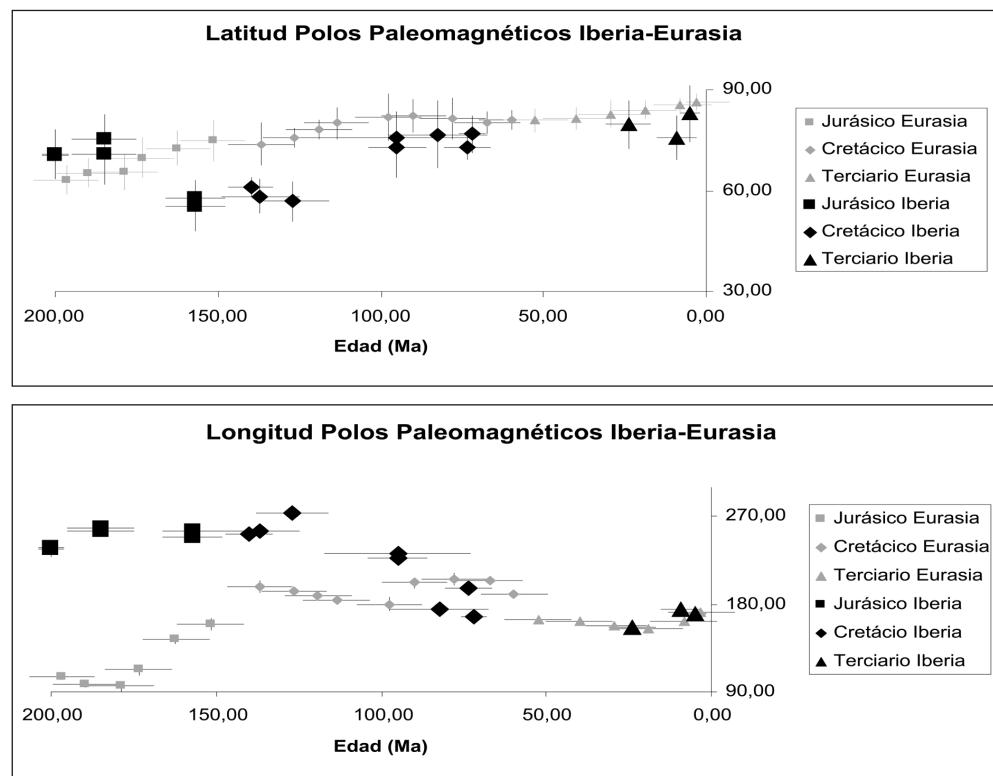


Figura 3. Curvas de Deriva Polar Aparente de Iberia y Eurasia para los últimos 200 Ma. En negro se representan los datos de Iberia y en gris los de la Placa Euroasiática. Nota: Los polos considerados inicialmente de edad Aptiense-Albiense, se les ha asignado una edad aquí de 95-100 Ma. Ver discusión en el texto.

En la figura 3 se muestra la comparación de las Curvas Ibérica y Euroasiática. Esta última ha sido obtenida por Besse y Courtillot (2002) a partir de la Curva Patrón Africana. En la figura se observa claramente cómo la tendencia de estas curvas es muy diferente hasta los 80-70 Ma. A partir de entonces, aunque el número de datos es pequeño, las dos placas parecen describir un movimiento similar (coinciden las dos curvas).

Tabla 2. Polos de Euler y ángulo de rotación de Iberia a Norte América y de Norte América a África.

Iberia respecto a Norte América.

Anomalía magnética	Edad	ELAT	ELONG	W	Ref
5	9.9	65.38	133.58	-2.44	1*
6	19.2	68.00	138.20	-4.75	2*
13	33.1	76.34	117.33	-7.98	2*
21	46.3	74.70	126.96	-11.05	2*
24	52.4	72.98	133.28	-12.94	2*
25	55.9	73.29	133.88	-15.25	2*
31	67.7	74.96	135.34	-17.19	2*
33	79.1	85.49	110.28	-22.41	2*
34	83.0	87.18	57.43	-24.67	2*
M0	120.2	64.71	-18.94	-58.11	3*
M0	118.0	68.88	-15.00	-50.62	2*
M25	154.0	66.90	-12.93	-60.45	2*
	175	65.72	-12.82	-66.32	4*

Norte América respecto a África.

Anomalía Magnética	Edad	ELAT	ELONG	W	Ref
5	9.9	80.12	50.80	2.52	5*
6	20	79.57	37.84	5.29	6*
13	33.1	75.37	1.12	10.04	5*
21	46.3	75.30	-3.88	15.25	5*
24	52.4	78.33	-2.64	16.91	5*
25	55.9	79.68	-0.46	18.16	5*
30	65.6	82.90	4.94	20.76	5*
31	67.7	82.51	-0.63	20.96	6*
32	71.1	81.35	-9.15	22.87	6*
33	73.6	80.76	-11.76	23.91	6*
33	79.1	78.30	-18.35	27.06	6*
34	83.0	76.55	-20.73	29.60	6*
M0	120.2	66.09	-20.18	54.45	2*
M4	126.0	65.97	-19.43	56.63	7*
M10	130.2	65.95	-18.50	57.40	6*
M11	131.1	66.14	-18.72	58.03	7*
M16	137.9	66.24	-18.33	59.71	7*
M21	146.7	66.24	-15.33	62.14	7*
M25	154.0	66.70	-15.85	64.90	7*
	170.0	67.02	-13.17	72.10	6*
	175.0	65.97	-12.76	76.44	2*

Elat y Elong. Posición del polo de Euler W: ángulo de rotación (negativo rotación horaria)

Ref. Referencias de los polos de rotación de Euler: 1* Lawyer et al. (1990); 2* Srivastava et al. (1990); 3* Srivastava et al. (2000); 4* Srivastava & Verhoef (1992); 5* Müller et al. (1990); 6* Klitgord & Schouten (1986); 7* Roest et al. (1992).

Con objeto de investigar la consistencia interna de los datos paleomagnéticos y los que proporcionan las anomalías magnéticas oceánicas, los polos de Iberia han sido rotados a la Placa Africana. Al no disponer de polos de rotación directos entre las placas Ibérica y Africana, se ha realizado una doble rotación. En primer lugar se han trasladado los polos ibéricos a Norte América, utilizando los polos de Euler y los ángulos de rotación que se describen en la tabla 2. Y, a continuación se han trasladado a África. Por consistencia, los polos utilizados para efectuar las rotaciones de Norte América a África son los mismos que los empleados por Besse y Courtillot (2002). Los polos utilizados para trasladar los polos Ibéricos a Norte América se basan en los estudios de Srivastava et al. (1990, 2000), Srivastava y Verhoef (1992) y Lawver et al. (1990). En la tabla 3 se muestran los polos de Iberia trasladados a África. Estos datos se representan gráficamente en la figura 4.

Tabla 3: Polos paleomagnéticos de Iberia de los últimos 200 Ma trasladados a África

Sitio	Edad	Plat-Ibe-Afr	Plong-Ibe-Afr
Calatrava	Mio.-Plio. (~5 Ma)	83.0	170.4
Valle Penedés	Mio. S. (~11-5 Ma)	75.47	178.97
Ebro	Oligo.-Plio. (~24 Ma)	79.76	168.76
Monchique	70-74 Ma	74.49	196.40
Lisboa Volcánicas	69-76 Ma	67.77	214.45
Sintra	75-90 Ma	73.50	200.80
Algarve Sedimentos	Alb.-Apt. (~112 Ma)	69.00	241.23
Lisboa Sedimentos	Apt. (~116 Ma)	66.69	236.44
Lisboa Sedimentos	Haut.-Barre. (~127 Ma)	52.37	276.33
Algarve Sedimentos	Port.-Val. (~137 Ma)	52.99	260.73
Algarve	Berri. (~140 Ma)	55.03	259.12
Aguilón Sedimentos	Oxf. (~157 Ma)	52.93	257.84
S. Ibérico calizas	Oxf. (~157 Ma)	55.23	251.09
S. Ibérico calizas	Toar. (~185 Ma)	71.50	263.39
S. Ibérico calizas	Toar. (~185 Ma)	67.12	266.35
Dique Messejana-Plasencia	201-205 Ma	67.09	247.84
Dique Messejana-Plasencia	201-205 Ma	66.67	249.32

Plat-Ibe-Afr, Plong-Ibe-Afr. Latitud y longitud del polo paleomagnético de Iberia trasladado a África.

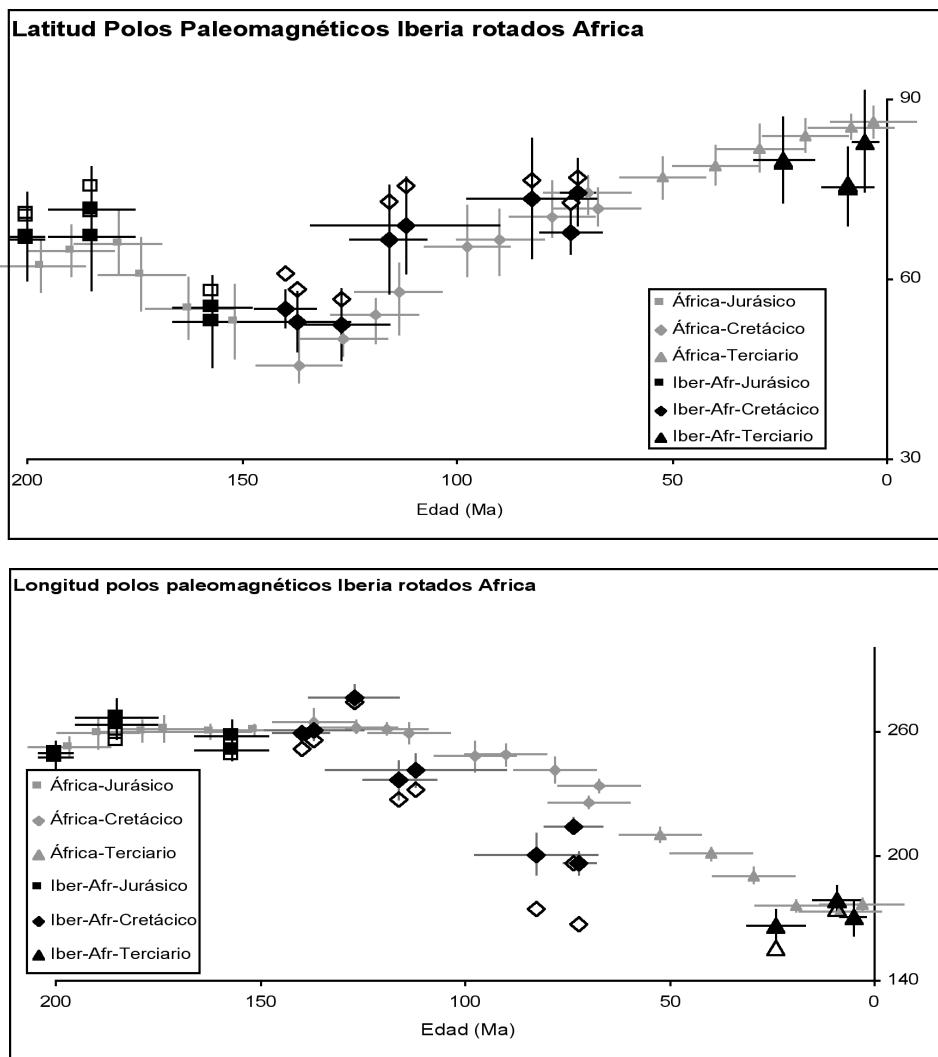


Figura 4. Curva de Deriva Polar Aparente de la Placa Africana (en gris) y Polos de la Placa Ibérica rotados África (en negro). Los símbolos vacíos indican la posición de los polos ibéricos antes de ser rotados (ver figura 2).

Al introducir la pequeña rotación entre Iberia y África, los datos paleomagnéticos de edades comprendidas entre 200 y 140 Ma de Iberia son completamente indistinguibles de los Africanos. Por tanto los datos paleomagnéticos y los parámetros de reconstrucción son consistentes. El polo determinado para 127 Ma, si bien estadísticamente es distingible (en longitud) de la Curva Africana, es consistente en latitud. Además, la tendencia de las curvas es muy similar y el

último polo describe la cúspide que se observa en longitud en las dos curvas. El suavizado de la curva Africana no se ha podido realizar en la Ibérica, debido al pequeño número de datos disponibles. Pensamos que ésta puede ser la razón de la pequeña discrepancia observada. Los polos de rotación para el segmento Cretácico Inferior han sido los propuestos por Srivastava et al. (1990).

Los datos Cretácicos Ibéricos de edades comprendidas entre 116 Ma y 70 Ma tras ser trasladados a África no llegan a un perfecto solapamiento con la curva Africana, aunque los polos se acercan notablemente. Las diferencias entre las dos curvas (en este tramo) están principalmente en la paleolongitud del polo. Lo que indica que existe una cierta inconsistencia entre los datos paleomagnéticos y los que proporcionan las anomalías magnéticas oceánicas.

Para el segmento Aptiense-Albiense, una posible explicación de estas discrepancias puede ser la ausencia de polos de rotación definidos entre la anomalía M0 de 120 Ma y la anomalía 34 de 83 Ma debido al supercrono de polaridad normal del Cretácico. Por tanto, no quedó, en el suelo oceánico, el registro del movimiento relativo entre Iberia y África.

Aunque, por otra parte, si se revisan los datos paleomagnéticos, los polos de Edad Aptiense-Albiense tienen la misma dirección paleomagnética que la de la reimanación descrita por Juárez et al. (1998). De hecho, estos últimos autores utilizan la similitud direccional para «datar» la reimanación. Pero, al inspeccionar con más detalle los datos de los que se obtuvieron los polos para el Albiense-Aptiense, se observa que las propiedades magnéticas de la componente que fue considerada original son similares a las de la reimanación descrita por Juárez et al. (1998). Parece, por tanto, también plausible, considerar que todos estos datos describan un mismo evento que reimanó gran parte de los sedimentos cretácicos y jurásicos de la Placa Ibérica.

Dado que en la Cordillera Ibérica, otro evento que puede estar relacionado con la reimanación descrita por Juárez et al. (1998) y por Villalaín et al. (2003), y que produjo un metamorfismo de alta temperatura en la región de Cameros, está datado en torno a los 100-95 Ma, hemos analizado la posibilidad de que estos datos estén reimanados en esa época. Los autores de los polos Albiense-Aptiense, aportan una prueba del pliegue positiva, por lo que es posible utilizar directamente los polos paleomagnéticos y asignarles una edad de 95-100 Ma. En la figura 5 se muestran los resultados obtenidos.

Como se puede observar, los polos ahora son indistinguibles de sus coetáneos africanos. Por lo que la hipótesis de que estos polos se han obtenido de sedimentos reimanados parece consistente con los datos que proporciona el registro oceánico.

También existen discrepancias entre los polos obtenidos en torno a 70 Ma, en rocas volcánicas de Portugal (Monchique Lisboa y Sintra) y la Curva sintética Africana. Para estas edades sí que existen anomalías magnéticas y han sido propuestos parámetros de reconstrucción entre Iberia y Norteamérica (Srivastava et al., 2000) que, sin embargo, no son consistentes con los datos paleomagnéticos.

En este caso, tres de los polos paleomagnéticos, fueron obtenidos en estudios realizados hace alrededor de 30 años (Van der Voo, 1969, Van der Voo y

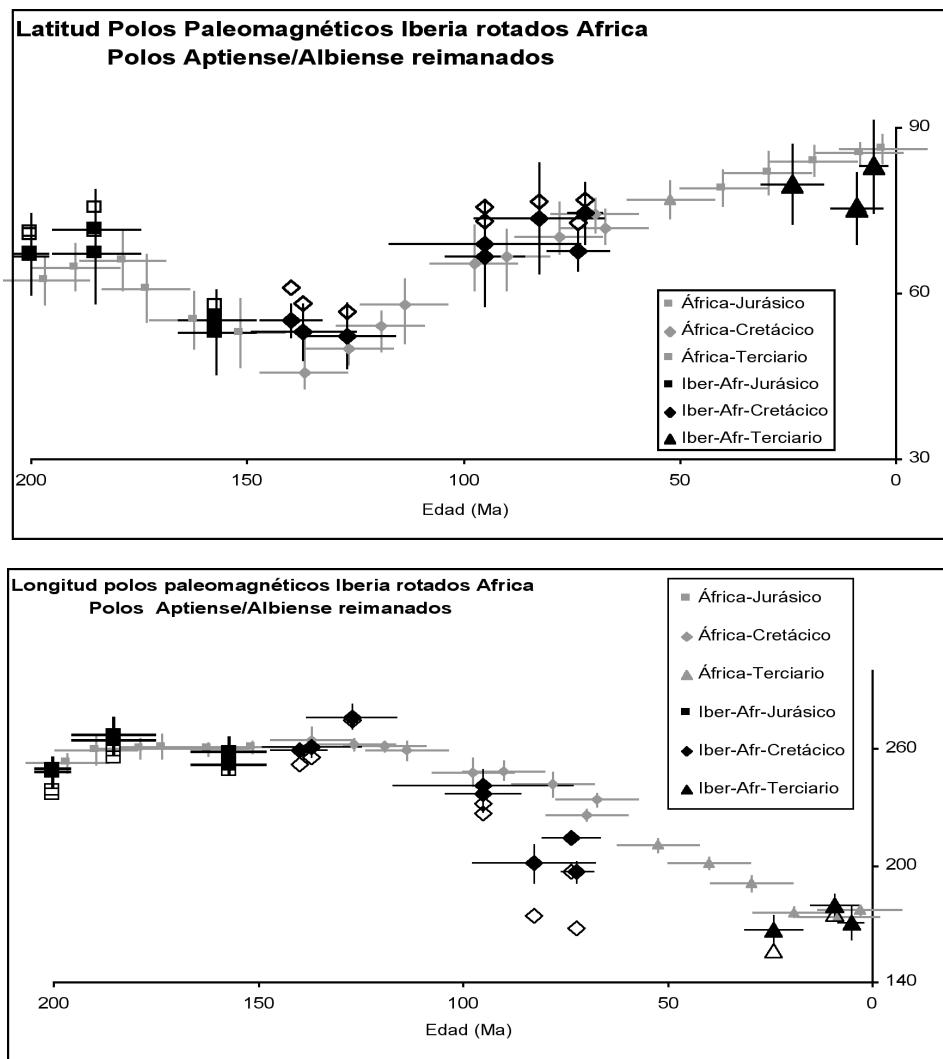


Figura 5. Curva de Deriva Polar Aparente de la Placa Africana (en gris) y Polos de la Placa Ibérica rotados a África (en negro). Se ha considerado una edad de 95-100 Ma para los polos inicialmente considerados de edad Aptiense-Albiense. Los símbolos vacíos indican la posición de los polos ibéricos antes de ser rotados.

Zijderveld, 1971). Y fueron discutidos por Storetvedt et al. (1990) y Van der Voo (1993). Quizás, fuera conveniente llevar a cabo nuevos estudios paleomagnéticos en estos materiales, pero los datos aparentemente tienen buena calidad, y tienen consistencia con los datos de la Curva Euroasiática (ver figura 3).

Por otra parte, la ausencia de la anomalía 33 y posteriores en el Golfo de Vizcaya y los datos paleomagnéticos disponibles hasta el momento tienen con-

sistencia, pues Iberia habría completado prácticamente su movimiento antihorario con respecto a Eurasia y, según los datos paleomagnéticos, África continuaría aún su movimiento antihorario con respecto a Eurasia.

Pensamos que, en este caso, la discrepancia se debe a la inexactitud de los polos de rotación. Srivastava et al. (1990) no consideraron Iberia como una placa independiente durante la formación de las anomalías 33 a 21 porque no hubieran podido obtener una solución cinemática precisa dado que no podían utilizar zonas de fractura definidas (salvo la zona de fractura de Azores-Gibraltar que no puede ser utilizada porque tiene superpuesta actividad reciente). Además, el pequeño tamaño de la Placa Ibérica, haría que los errores fueran muy grandes. Por estas razones Iberia fue tratada como parte de la placa Africana para este periodo de tiempo. Pero, como se ha visto, los datos paleomagnéticos no confirman esta hipótesis.

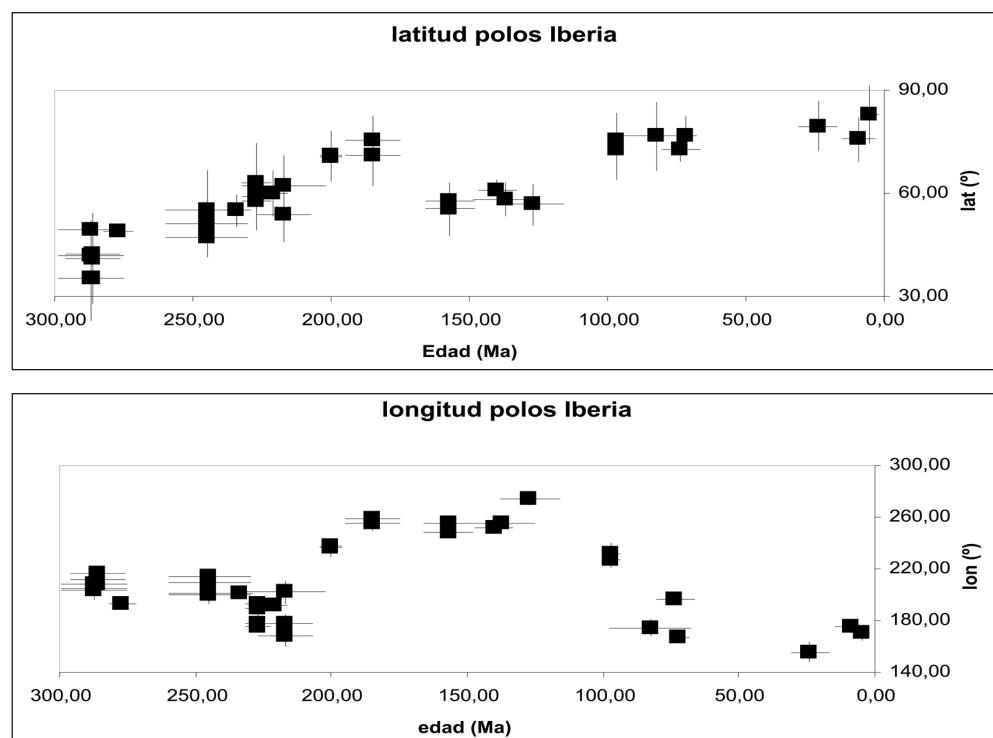


Figura 6. Curva de Deriva Polar Aparente de Iberia de los últimos 300 Ma.

Los datos existentes para Iberia en el Terciario se ajustan, dentro de los márgenes de error, a los africanos. No obstante hay que destacar la escasez de datos disponibles.

En la Figura 6 se presenta la Curva de Deriva Polar Aparente de Iberia de los últimos 300 Ma, donde se ha corregido la edad de los polos cretácicos.

9. CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta la Curva de Deriva de los Polos de Iberia para los últimos 300 Ma. Aunque el número de datos no es muy grande, la curva presenta tendencias bien definidas que han sido comparadas con las Curvas Patrón de África y Eurasia para los últimos 200 Ma.

Uno de los problemas fundamentales que hacen que sea difícil aumentar el número de polos paleomagnéticos mesozoicos válidos para Iberia es la existencia de una gran reimanación que ha afectado a gran parte de los sedimentos jurásicos y cretácicos de Iberia. Este evento reimanador tuvo lugar entre los 125-90 Ma, pero este trabajo indica que muy probablemente la reimanación se produjo hace 95-100 Ma. Al asumir esta hipótesis los datos paleomagnéticos y el registro oceánico son consistentes.

La discrepancia observada entre los polos ibéricos de 70 Ma y la Curva Patrón de África se explica, en este caso, por la inexactitud de los polos de rotación de Euler obtenidos a partir del registro oceánico, ya que Srivastava et al. (1990) consideró que Iberia se movió solidaria con África entre las anomalías 33-21.

Los datos paleomagnéticos indican que Iberia tuvo un movimiento similar a la Placa Africana al menos hasta hace 127 Ma. A partir de entonces Iberia rotó con respecto a Eurasia de forma más rápida que la placa Africana. La rotación de Iberia con respecto a Eurasia finalizó hace aproximadamente 70 Ma.

10. AGRADECIMIENTOS

Al profesor Udíás todo nuestro agradecimiento por apoyar la creación de un grupo de paleomagnetismo en la UCM. El apostó por esta línea de investigación, buscó financiación para empezar a crear en 1986 un laboratorio de paleomagnetismo, nos involucró en sus proyectos de investigación del sur de Iberia y dirigió la primera tesis doctoral sobre este tema que se presentó en el año 1988. Desde entonces se han presentado siete tesis doctorales en el Departamento de Física de la Tierra I. Sin su continuo apoyo esto no hubiera sido posible. Creó en el Departamento el ambiente de trabajo idóneo para que las jóvenes generaciones se interesaran por la Geofísica y por la investigación, nos enseñó a ser independientes, a redactar proyectos y artículos, a discutir científicamente y a no desgastarnos por la burocracia. Gracias por creer un día en una estudiante cabezota que se empeñó en trabajar en algo que tuviera que ver con el Geomagnetismo.

Este trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos BTE2002-00854 y CGL2005-00211.

11. REFERENCIAS

- ALLERTON, S.; L. LONERGAN; J. P. PLATT; E. S. PLATZMAN & E. MCCLELLAND (1993) Palaeomagnetic rotations in the eastern Betic Cordillera, southern Spain. *Earth Planet Sci. Lett.* 119: 225-241.
- BARBERÁ, X.; L. CABRERA; E. GOMIS & J. M. PARÉS (1996). Determinación del polo paleomagnético para el límite Oligoceno-Mioceno en la Cuenca del Ebro. *Geogaceta*, 20 (5): 1014-1016.
- BESSE, J. & V. COURTILOT (2002). Apparent and true polar wander and the Geometry of the magnetic Field in the last 200 Million Years. *Journal Geophysical Research*, 107(B11), 2300, doi: 10.1029/2000JB000050.
- BÓGALO, M. F.; M. L. OSETE; E. ANCOCHEA & J. J. VILLALÁIN (1994). Estudio paleomagnético del volcanismo de campos de Calatrava. *Geogaceta* 15, 109-112.
- CLEGG, J. A.; E. R. DEUTSCH; C. W. F. EVERITT & P. H. S. STUBBS (1957). Some recent paleomagnetic measurements made at Imperial College, London. *Phil. Mag. Suppl. Advan. Phys.*, 6, 22, 219-231.
- DINARÉS, J.; E. MCCLELLAND & P. SANTANACH (1992). Contrasting rotations with thrust sheets and kinematics of thrust tectonics as derived from paleomagnetic data: an example from the Southern Pyrenees. *in: McClay, K. (ed.), 'Thrust Tectonics'*, Chapman y Hall: 265-275.
- GALBRUN, B.; P. Y. BERTHOU; C. MOUSSIN & J. AZEMA (1990). Magnétostratigraphie de la limite Jurassique-Cretacé en las facies de plate-forme carbonatée: la coupe de Bias do Norte (Algarve, Portugal). *Bull. Soc. géol. France*, 8, VI, 1: 133-143.
- GALDEANO, A. ; M. G. MOREAU ; J. P. POZZI; P. Y. BERTHOU & J. A. MALOD (1989). New paleomagnetic results from Cretaceous sediments near Lisboa (Portugal) and implications for the rotation of Iberia, *Earth Planet.Sci.Letters*, 92, 95-106.
- GARCÉS, M.; J. AGUSTI; L. CABRERA & J. M. PARES (1996). Magnetostratigraphy of the Vallesian (Late Miocene) in the Valles-Penedes Basin (northeast Spain), *Earth Planet.Sci.Letters*, 142, 381-396.
- GIALANELLA, P. R.; M. L. OSETE; A. GOY; J. J. VILLALÁIN; J. J. GÓMEZ & F. HELLER (1998). Lower Toarcian magnetostratigraphy from the Iberian Range (Spain). *Geologica Carpathica*, 49, 3: 218-219.
- GRADSTEIN, F. M.; F. P. AGTERBERG; J. G. OGG; J. HANDERBOL; P. VAN VEEN; J. THIERRY & Z. HUANG (1994). A Mesozoic time scale. *Journal Geophysical Research*, 99, B12, 24.051-24.074.
- HERNANDO, S.; J. J. SCHOTT; R. THUIZAT & R. MONTIGNY (1980). Age des andésites et des sédiments interstratifiés de la région d'Atienza (Espagne): Etude stratigraphique, géochronologique et paléomagnétique. *Sci. Géol. Bull.* 33 : 119-128.
- JUAREZ, M. T. ; M. L. OSETE ; G. MELENDEZ ; C. G. LANGEREIS & J. D. A. ZIJDERVELD (1994). Oxfordian magnetostratigraphy of the Aguilón and

- Tosos sections (Iberian Range, Spain) and evidence of a pre-Oligocene overprint. *Phys. Earth and Planet. Inter.* 85: 195-211.
- JUÁREZ, M. T.; M. L. OSETE; G. MELÉNDEZ & W. LOWRIE (1995). Oxfordian magnetostratigraphy in the Iberian Range. *Geophysical Research Letters*, 22, 2889-2892.
- JUÁREZ, M. T.; M. L. OSETE; R. VEGAS; C. G. LANGEREIS & G. MELÉNDEZ (1996). Palaeomagnetic study of Jurassic limestones from the Iberian Range (Spain) in: Morris, A. & D. H. Tarling (eds), *Palaeomagnetism and Tectonics of the Mediterranean Region*. Geol. Soc. Spec. Publ. 105 : 83-90.
- JUÁREZ, M. T.; W. LOWRIE; M. L. OSETE & G. MELENDEZ (1998). Evidence of widespread Cretaceous remagnetization in the Iberian Range and its relation with the rotation of Iberia. *Earth Planet. Sci. Letters*, 160, 729-743.
- KELLER, P.; W. LOWRIE & A. U. GEHRING (1994). Palaeomagnetic evidence for Post-Thrusting Tectonic rotation in the Southeast Pyrenees, Spain. *Tectonophysics* 239: 29-42.
- KLITGORD, K.D. & H. SCHOUTEN (1986). Plate kinematics of the central Atlantic. In: Vogt, P.R. & B.E. Tucholke (eds.), *The Geology of North America, Vol. M, The Western and North Atlantic Region*. Geological Society of America, Boulder, pp. 351-378.
- LAWVER, L.A.; R. D. MÜLLER; S. P. SRIVASTAVA & E. R. ROEST (1990). The opening of the Arctic Ocean. in: Bleil, U. & J. Thiede (eds.), *Geological History of the Polar Oceans: Arctic Versus Antarctic*. Kluwer Academic Publishing, Dordrecht, pp. 29-62.
- MOREAU, M.G.; J. CANEROT & J. A. MALOD (1992). Paleomagnetic study of Mesozoic sediments from the Iberian Chain (Spain). Suggestions for Barremian remagnetization and implications for the rotation of Iberia. *Bull. Soc. Geol. France*, 163, 4: 393-402.
- MOREAU, M.G.; J. Y. BERTHOU & J. A. MALOD (1997). New paleomagnetic Mesozoic data from the Algarve (Portugal): fast rotation of Iberia between the Hauterivian and the Aptian. *Earth Planet. Sci. Lett.* 146: 689-701.
- MÜLLER, R.D.; D. T. SANDWELL; B. E. TUCHOLKE; J. G. SCLATER & P. R. SHAW (1990). Depth to basement and geoid expression in the Kane Fracture Zone: a comparison. *Marine Geophysical Research* 13, 105-129.
- OSETE, M. L.; R. FREEMAN & R. VEGAS (1988). Preliminary palaeomagnetic results from the Subbetic Zone (Betic Cordillera, southern Spain): kinematic and structural implications. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 52, 283-300.
- OSETE, M. L.; D. REY; J. J. VILLALAÍN & M. T. JUÁREZ (1997). The Late Carboniferous to Late Triassic segment of the apparent polar wander path of Iberia. *Geologie en Mijnbouw*, 76, 105-119.
- OSETE, M. L.; C. OSETE; P. R. GIALLANELLA & J. J. VILLALAÍN (2000). Paleolatitudes de la Placa Ibérica durante el Jurásico. *Programas y resúmenes, II Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica*, 311-312.

- OSETE, M. L.; J. J. VILLALÁIN; A. PALENCIA; C. OSETE; J. SANDOVAL & V. GARCÍA-DUEÑAS (2004). New Palaeomagnetic data from the Betic Cordillera. Constraints on the timing and the geographical distribution of tectonic rotations in southern Spain. *Pure and Applied Geophysics*, 161, 701-722.
- PALENCIA ORTAS, A. (2004). *Estudio paleomagnético de rocas de edad jurásica de la Península Ibérica y del Norte de Marruecos*. PhD Thesis, Universidad Complutense Madrid, 275pp.
- PALENCIA ORTAS, A.; M. L. OSETE; R. VEGAS & P. SILVA (2006). Paleomagnetic study of the messejana plasencia dyke (portugal and spain): a lower jurassic paleopole for the iberian plate. *Tectonophysics* (en prensa).
- 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. Inter.* 52: 267-82.
- PARÉS, J. M. & J. DINARÉS (1994). Iberian Triassic paleomagnetism revised: Intraplate block rotations versus polar wandering. *Geophys. Res. Lett.* 21: 2155-2158.
- PARÉS, J. M.; R. VAN DER VOO; & J. A. STAMATAKOS (1996). Paleomagnetism of Permian and Triassic red beds of NW Spain and implications for the tectonic evolution of the Asturian-Cantabrian arc. *Geophysical Journal International*, 126, 893-901.
- PASCUAL, J.O. & J. M. PARÉS (1990). Paleomagnetismo de las calizas y areniscas del tránsito Eoceno-Oligoceno en el borde SE. De la Cuenca del Ebro. *Rev. Soc. Geol. España*, 3: 323-333.
- PÉREZ-RIVARÉS, F. J.; G. PARDO; M. GARCÉS & C. ARENAS (2003). Periodicidad sedimentaria en el registro lacustre de la Unidad Tectosedimentaria T6 de la sección de San Caprasio (Mioceno medio) del sector central de la Cuenca del Ebro. *Geotemas* 5, pp. 195-198.
- PERRIN, M.; M. PREVOT & E. A. MANKINEN (1991). Low intensity of the Geomagnetic Field in Early Jurassic Time. *Journal of Geophysical Research*, 96, B9, 14.197-14.210.
- PLATZMAN, E. & W. LOWRIE (1992). Paleomagnetic evidence for rotation of the Iberian Peninsula and external Betic Cordillera, Southern Spain. *Earth Planet. Sci. Lett.* 108: 45-60.
- RAPAILLE, C. ; A. MARZOLI ; H. BERTRAND ; G. FERAUD ; L. REISBERG & D. FONTIGNIE (2003). Geochemistry and 40 AR/AR age of the European part of the Central Atlantic Magmatic Province. *Geophysical Research Abstracts*, vol. 5, 11791.
- REY, D.; P. TURNER & A. RAMOS (1996). Palaeomagnetism and magnetostratigraphy of the Middle Triassic in the Iberian Ranges (Central Spain). in: A. Morris & D. H. Tarling (eds.), 'Palaeomagnetism and Tectonics of the Mediterranean Region' Geol. Soc. Spec. Publ. 105: 59-82.
- ROEST, W. R.; J. J. DAÑOBEITIA; J. VERHOEF & B. J. COLLETTE (1992). Magnetic anomalies in the Canary Basin and the Mesozoic evolution of the central North Atlantic. *Marine Geophysical Researches* 14, 1-24.

- RUIZ MARTÍNEZ, V.C.; A. SOPEÑA; D. REY; J. J. VILLALAIN; P. R. GIANELLA & M. L. OSETE (1999). Primeros resultados magnetoestratigráficos del Triásico medio-superior (Ladinense-Karniense) en la Cordillera Ibérica Occidental (Cuevas de Ayllón). *Geogaceta*, 25, 179-183.
- SCHOTT, J.J. (1988). Lower Permian to Miocene Apparent Polar Wander Path for Iberia and its bearings on kinematic evolution. *Cuadernos Geol. Ibérica* 12: 21-37.
- 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 Península since Middle Jurassic. *Earth Planet. Sci. Lett.* 53: 457-470.
- SCHOTT, J. J. & A. PERES (1987a). Paleomagnetism of Lower Cretaceous red beds from northern Spain: evidence for a multistage acquisition of magnetization. *Tectonophysics* 139: 239-253.
- SCHOTT, J. J. & A. PERES (1987b). Paleomagnetism of Permo-Triassic red beds from the Asturias and Cantabrian Chain (northern Spain): evidence for strong lower Tertiary remagnetizations. *Tectonophysics* 140: 179-191.
- SCHOTT, J. J. & A. PERES (1988). Palaeomagnetism of Permo-Triassic red beds in the western Pyrenees: evidence for strong clockwise rotations of the Palaeozoic units. *Tectonophysics* 156: 75-88.
- SCHWARZ, E.J. (1963). A paleomagnetic investigation of Permo-Triassic red beds and andesites from the Spanish Pyrenees. *J. Geophys. Res.* 68, 3265-3271.
- SEBAI, A.; G. FERAUD; H. BERTRAND & J. HANES (1991). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating and geochemistry of tholeitic magmatism related to the early opening of the central Atlantic rift. *Earth and Planetary Science Letters*, 104, 455-472.
- SRIVASTAVA, S.P. & J. VERHOEF (1992). Evolution of Mesozoic sedimentary basins around the North Central Atlantic: a preliminary plate kinematic solution. in: Parnell, J. (ed.), *Basins on the Atlantic Seaboard: Petroleum Geology, Sedimentology and Basin Evolution*. Geological Society, London, Special Publication, pp. 397-420.
- SRIVASTAVA, S. P.; W. R. ROEST; L. C. KOVACS; G. OKEY; S. LEVESQUE; J. VERHOEF & R. MACNAB (1990). Motion of Iberia since the Late Jurassic : Results from detailed aeromagnetic measurements in the Newfoundland Basin. *Tectonophysics*, 184, 229-260.
- SRIVASTAVA, S. P.; J-C. SIBUET ; S. CANDE ; W. R. ROEST & I. D. REID (2000). Magnetic evidence for low seafloor spreading during the formation of the Newfoundland and Iberian margins. *Earth Planet. Sci. Letters*, 182, 61-76.
- STAUFFER, K. W. & D. H. TARLING (1971). Age of the Bay of Biscay: New paleomagnetic evidence. *L'histoire structurale de Golfe de Gascogne*. Ed. Technip. (Paris).
- STEINER, M. B.; J. G. OGG; G. MELENDEZ & L. SEQUEIROS (1985). Jurassic magnetostratigraphy, 2. Middle-Late Oxfordian of Aguilón, Iberian Cordillera, northern Spain, *Earth Planet. Sci. Letters*, 76, 151-166.

- STORETVEDT, K. M.; H. MOGSTA; M. C. ABRANCHES; J. G. MITCHELL & A. SERRALHEIRO (1987). Paleomagnetism and isotopic age data from Upper Cretaceous igneous rocks of W. Portugal; geological correlation and plate tectonic aspects. *Geophysical Journal Royal Astronomy Society*, 88, 241-263.
- STORETVEDT, K. M.; J. G. MITCHELL; M. C. ABRANCHES & S. OFTE-DAHL (1990) .A new kinematic model for Iberia; further palaeomagnetic results and isotopic age evidence, *Phys.Earth Planet.Interiors*, 62, 109-125, 1
- TURNER, P.; A. TURNER; A. RAMOS & A. SOPEÑA (1989). Palaeomagnetism of Permo-Triassic Rocks in the Iberian Cordillera, Spain: Acquisition of Secondary and Characteristic Remanence . *J. Geol. Soc., London* 146: 61-76.
- VAN DER LINGEN, G.J. (1960). Geology of the Spanish Pyrenees north of Canfrane, Huesca province. *Estud. Geol. Inst. Invest. Geol. 'Lucas Malda'*, Madrid, 16, 205-242.
- VAN DER VOO, R. (1967). The rotation of Spain: paleomagnetic evidence from the Spanish Meseta. *Palaeogeogr, Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 3 : 393-416
- VAN DER VOO, R. (1969). Paleomagnetic evidence for the rotation of the Iberian Península, *Tectonophysics*, 7, 5-56.
- VAN DER VOO, R. (1993). *Paleomagnetism of the Atlantic, Tethys and Iapetus Oceans*. Cambridge University Press., Cambridge, 411 pp.
- VAN DER VOO, R. & J. D. A. ZIJDERVELD (1971). Renewed paleomagnetic study of the Lisbon Volcanics and implications for the rotation of the Iberian Peninsula, *J.Geophys.Res.*, 76, 3913-3921.
- VANDERBERG, J. (1980). New palaeomagnetic data from the Iberian Peninsula. *Geol. Mijnbouw*, 59: 49-60.
- VEGAS, R.; J. T. VÁZQUEZ; E. SURIÑACH & A. MARCOS (1990). Model of distributed deformation, block rotations and crustal thickening for the formation of the Spanish Central System. *Tectonophysics*, 184, 3-4, 367-378.
- VILLALAÍN, J. J.; M. L. OSETE; R. VEGAS; V. GARCÍA-DUEÑAS & F. HELLER (1994). Widespread Neogene remagnetization in Jurassic limestones of the South-Iberian palaeomargin (Western Betics, Gibraltar Arc). *Phys. Earth Planet. Inter.* 85: 15-33.
- VILLALAÍN, J. J.; M. L. OSETE; R. VEGAS & V. GARCÍA DUEÑAS (1995). Evolución rotacional de las Béticas externas occidentales a partir de estudios paleomagnéticos. *Geogaceta*, 17: 120-123.
- VILLALAÍN, J. J.; M. L. OSETE; R. VEGAS; V. GARCÍA-DUEÑAS & F. HELLER (1996). The Neogene remagnetization in the western Betics: a brief comment on the reliability of palaeomagnetic directions. *in: Morris, A. & D. H. Tarling (eds) : Palaeomagnetism and Tectonics of the Mediterranean Region*. Geological Society Special Publication, 105: 33-41.
- VILLALAÍN, J. J.; G. FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ; A. M. CASAS & GIL-IMAZ (2003) Evidence of a Cretaceous remagnetization in the Cameros Basin (north Spain): implications for basin geometry. *Tectonophysics*, 377, 101-117.