

Remagnetización alpina en la Serra del Cadí (Pirineo Oriental)

Alpine remagnetization in the Cadí Range (eastern Pyrenees)

E.L. Pueyo¹, E. Beamud^{2,3}, J.A. Muñoz³, A. Rodríguez-Pintó⁴ y G. San Miguel⁵

1 Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de Zaragoza, c/ Manuel Lasala 44, 50006 Zaragoza. unaim@igme.es

2 Laboratorio de Paleomagnetismo CCiTUB-CSIC, ICT "Jaume Almera", C/ Solé i Sabarís, s/n. 08028 Barcelona betbeamud@ub.edu

3 Geomodels Research Institute, Dpt. Geodinàmica i Geofísica, Fac. Geologia Univ. Barcelona. C/ Martí i Franqués s/n, 08028 Barcelona

4 Universidad de Vigo. Unidad de Magnetometría CACTI. Lagoas Marcosende, Torre CACTI, 36310, Vigo. adriana.rodriguez@uvigo.es

5 Area de Estratigrafía. Dpto. Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, 50009, Zaragoza. galo.sanmiguel@gmail.com

Resumen: El Pirineo Oriental y en concreto la Serra del Cadí es uno de los sectores de la cadena con menor densidad y calidad de datos paleomagnéticos. En este trabajo se ha revisitado una de las secciones centrales (Pobla de Lillet) donde se han remuestreado rocas del Pérmico, del Maastrichtiense y del Paleoceno. Las rocas de mayor calidad son las areniscas rojas pérmicas y las calizas cretácicas. En las primeras se han identificado dos componentes con valor paleomagnético. La de alta temperatura (hasta 670°C) es similar a la definida en trabajos pioneros, es primaria y no muestra rotaciones significativas. La componente intermedia (hasta 500°C), no identificada en trabajos previos, parece ser una remagnetización sintectónica con el plegamiento (o basculamiento) alpino. La caracterización de rotaciones y la extensión de esta remagnetización (como fuente adicional de información cinemática) debería ser abordada en las rocas pérmicas en trabajos futuros en detrimento de las rocas cenozoicas cuya señal paleomagnética es de inferior calidad.

Palabras clave: Pirineo Oriental, Serra del Cadí, remagnetización alpina, sintectónica.

Abstract: *The eastern Pyrenees, particularly the Cadí Range, displays the less density and quality of paleomagnetic data of the chain. This paper revisited one of the central sections (Pobla de Lillet) where we have resampled Permian, Maastrichtian and Paleocene rocks. Best results were attained in the Permian red sandstones and in the Cretaceous limestones. In the Permian, two components with paleomagnetic meaning were identified. The high temperature component (up to 670 °C) is similar to that defined in pioneering works, it appears to be primary and does not show significant rotations. The intermediate temperature component (up to 500 °C), not identified in previous works, seems to be a syntectonic remagnetization with Alpine age. The characterization of rotations and the extension of this remagnetization (as an additional source of kinematics information) should be addressed in Permian rocks in future works since the paleomagnetic signal of Cenozoic rocks is of lower quality.*

Key words: Eastern Pyrenees, Cadí Range, alpine remagnetization, synfolding.

INTRODUCCIÓN

En el Pirineo meridional los materiales sintectónicos presentan un excelente grado de exposición, preservación y accesibilidad. Por ello presenta una alta densidad de datos paleomagnéticos (San Miguel et al., 2010) aunque su distribución es muy heterogénea, siendo más numerosos en los sectores centro-occidentales. Las sierras del Cadí y Pedraforca, en el sector oriental, aparte de algunos antecedentes pioneros (Vandongen, 1967), fueron objeto de estudio en la década de los 90 cuando se abordaron tanto la cuestión de la rotación de las unidades cabalgantes (Keller, 1992; Dinarès-Turell, 1992) como la datación de sus series sintectónicas (Burbank et al., 1992). No obstante, la calidad de los datos de estos sectores es modesta (Figs. 1 y 2), tanto en la definición estadística de los vectores (> 30% no pasa los criterios de Van der Voo, 1990), como en la propia naturaleza de la señal paleomagnética que, en muchos casos, no ha permitido obtener resultados (≈ 30%). En este trabajo hemos revisitado un corte entre los perfiles de Bagá y Gombrén (Burbank et al., 1992)

desde el techo de las unidades de basamento (Pérmico) hasta la secuencia basal de las unidades de cobertera.

SITUACIÓN GEOLÓGICA

La unidad del Cadí se extiende entre el Segre y el Mediterráneo, ocupando gran parte de la vertiente meridional de los Pirineos. Está constituida por materiales de zócalo hercínico y por una serie de cobertera formada por materiales del Estéfano-Pérmico, Triásico, Cretácico superior, Garumniense y una potente serie eocena de hasta 3000 m que representa los primeros estadios de la cuenca de antepaís surpirenaica del Pirineo oriental, cuya parte septentrional fue incorporada y desplazada hacia el sur por el manto del Cadí. En la zona de estudio se identifican las siguientes estructuras de sur a norte: pliegues de antepaís E-W, cabalgamiento de Vallfogona, sinclinal de Ripoll, apilamiento antiformal del Freser y cabalgamiento fuera de secuencia de Ribes-Camprodón (Muñoz et al., 1986).

A pesar de que la compresión se inició en el Cretácico superior con el desarrollo de cabalgamientos

en la zona del Pedraforca, el acortamiento siguió durante el Eoceno y culminó en el Eoceno superior-

Oligoceno en los Pirineos orientales (Burbank et al., 1992).

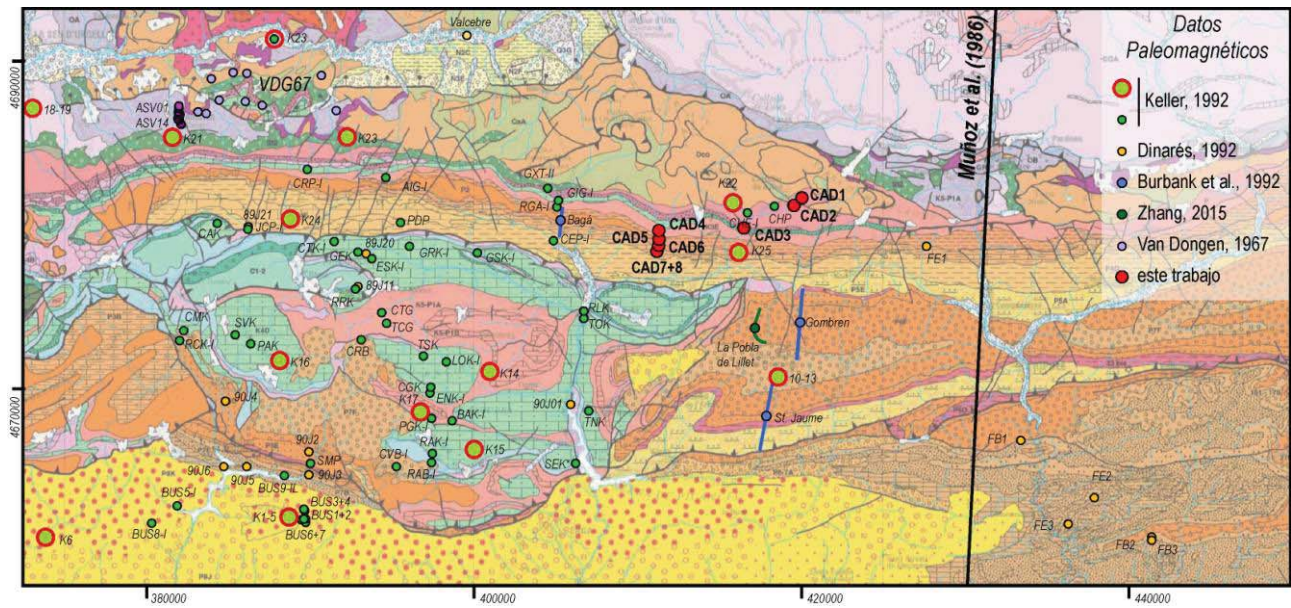


FIGURA 1. Mapa Geológico de las unidades de Pedraforca y Cadi (ICGC) con la posición de las estaciones estudiadas y las de otros autores.

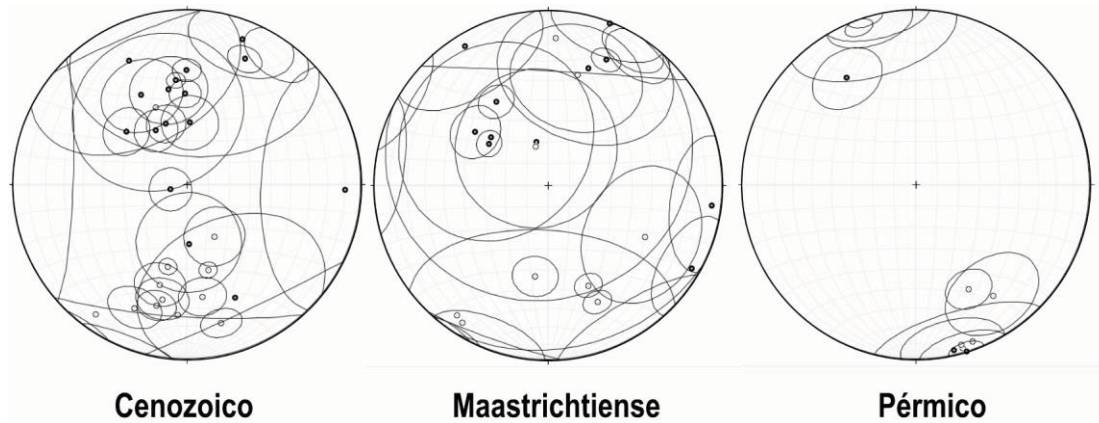


FIGURA 2. Proyección estereográfica de los datos paleomagnéticos en las unidades del Cadi y de Pedraforca estudiadas por otros autores: Van Dongen (1967), Keller et al. (1994), Dinarés et al. (1992), Burbank et al. (1992) distribuidos por edades.

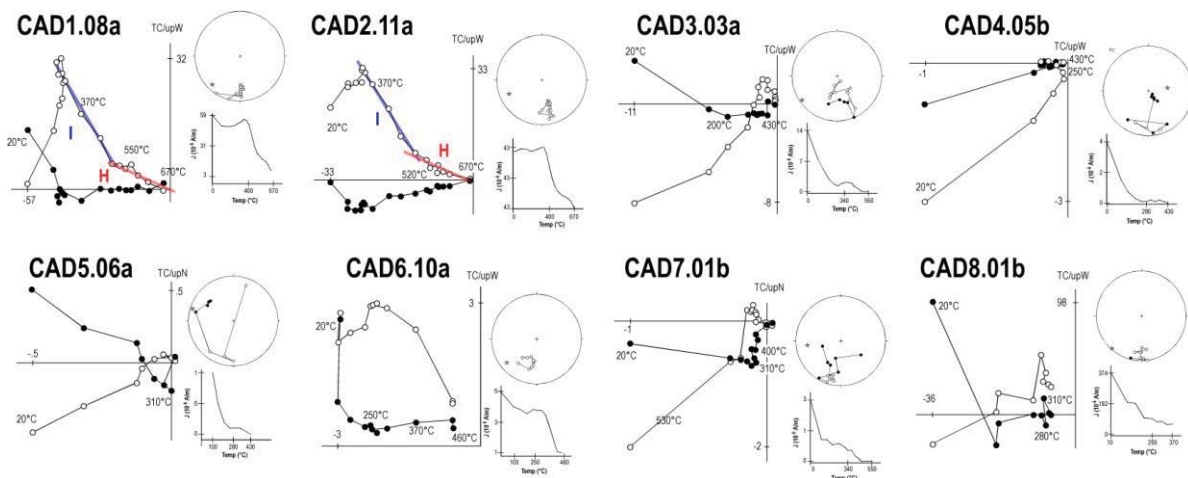


FIGURA 3. Diagramas ortogonales de desmagnetización de muestras seleccionadas, también se incluye la caída de la intensidad de la magnetización frente a la temperatura y la proyección estereográfica (equiareal).

Site	NRM	k		min	max	steps	n	N	DEC- bac	INC- bac	α_{95}	k	strike	dip	DD	Dec- abc	Inc- abc	Edad	Litología
CAD1-I	7000	446	PCA	364	500	5	10	10	180	-5	9	37	106	33	S	176	-36	Terciaria	Arenisca
CAD1-H	-	-	PCA	511	670	6	10	10	177	20	5	104	106	33	S	178	-12	Pérmico	Arenisca
CAD2-I	4000	367	PCA	343	513	6	12	12	179	15	6	58	106	66	S	172	-49	Terciaria	Arenisca
CAD2-H	-	-	PCA	520	660	6	12	12	176	40	9	29	106	66	S	178	-24	Pérmico	Arenisca
CAD3	1100	86	PCA	363	575	8	12	12	158	15	8	38	84	63	S	152	-45	Maastrichtie	Caliza
CAD4	200	6	PCA	264	364	4	5	12	178	36	11	101	95	47	S	179	-11	Paleoceno	Caliza dolom
CAD5	300	86	VPD-R	304	406	4	4	11	219	-52	17	43	242	33	N	193	-34	Cuisiense	Margas
CAD6	400	239	VPD-R	308	453	6	4	14	194	-10	14	8	110	66	S	172	-74	Cuisiense	Margas
CAD7	300	-5	PCA	285	460	7	10	11	201	-4	16	13	130	35	S	196	-37	Cuisiense	Margas
CAD8	17600	-4	PCA	260	415	6	3	4	207	73	43	14	81	126	S (i)	186	-49	Cuisiense	Margas

TABLA 1. Datos paleomagnéticos de la Sª del Cadi. k (susceptibilidad magnética) en 10^{-6} S.I., NRM (magnetización remanente natural) en 10^{-6} A/m. min-max-step: intervalo de desbloqueo y nº de pasos medio. BAC: datos in-situ (before any correction), ABC: restituidos (after bedding correction). Estratificación (strike, dip, DD, regla de la mano derecha, [i] invertida). PCA. Análisis de componentes principales. VPD-R: direcciones virtuales resultantes.

DATOS PALEOMAGNÉTICOS

Por medio de una perforadora portátil se han muestreado 8 nuevas estaciones (tabla 1) orientadas en el campo que incluyen dos puntos en rocas Pérmicas, uno en Cretácico Superior (calizas de Areny), uno en calizas del Paleoceno y cuatro en margas del Ilerdiense-Cuisiense (Fms. Sagnari y Coronas). Estructuralmente, las estaciones superiores se localizan en el flanco N del sinclinal de Ripoll, el cual ha sido basculado hacia el Sur por el apilamiento antiformal de la Zona Axial. Las rocas pérmicas muestreadas se encuentran solidarias con el basamento hercínico que integra dicho apilamiento antiformal. Se ha llevado a cabo una desmagnetización térmica detallada (de hasta 19 pasos) en el Laboratorio de Paleomagnetismo UB/CSIC por medio de un horno MTMD y un magnetómetro criogénico 2G (755-1.65). El procesado de las muestras se llevó a cabo con el software VPD (Ramón y Pueyo, 2012).

Con la excepción del Pérmico, todas las estaciones estudiadas mostraron valores de susceptibilidad y remanencia natural moderadas o bajas, dos de las

estaciones eran diamagnéticas. Además de la componente viscosa hasta 100-200°C, las rocas estudiadas mostraron componentes características diversas (Fig. 3). Las del Ilerdiense-Cuisiense (CAD5 a CAD8), se desmagnetizan entre 250-450°C siendo las direcciones de calidad mediocre (baja intensidad, frecuentes direcciones erráticas, aumentos de susceptibilidad magnética e intensidad de magnetización alrededor de 400-500°C). El método de direcciones virtuales tuvo que ser aplicado en dos de estas estaciones (CAD5 y 6). Los datos previos de otros autores (Fig. 2) delatan la deficiente calidad de estas rocas (Keller, 1992; Dinarès-Turell, 1992; Burbank et al., 1992). Las rocas del Maastrichtiense (CAD3) muestran mejor calidad y direcciones desbloqueadas desde $\approx 350^\circ\text{C}$ hasta 575°C. Finalmente, las areniscas rojas pérmicas, sin datos previos hasta ahora (Van Dongen [1967] trabajó en rocas volcanoclásticas desmagnetizadas por campos alternos [AF], muestran un comportamiento multicomponente; una dirección intermedia se desmagnetiza entre $\approx 350-515^\circ\text{C}$ y otra de alta temperatura entre $\approx 500-670^\circ\text{C}$.

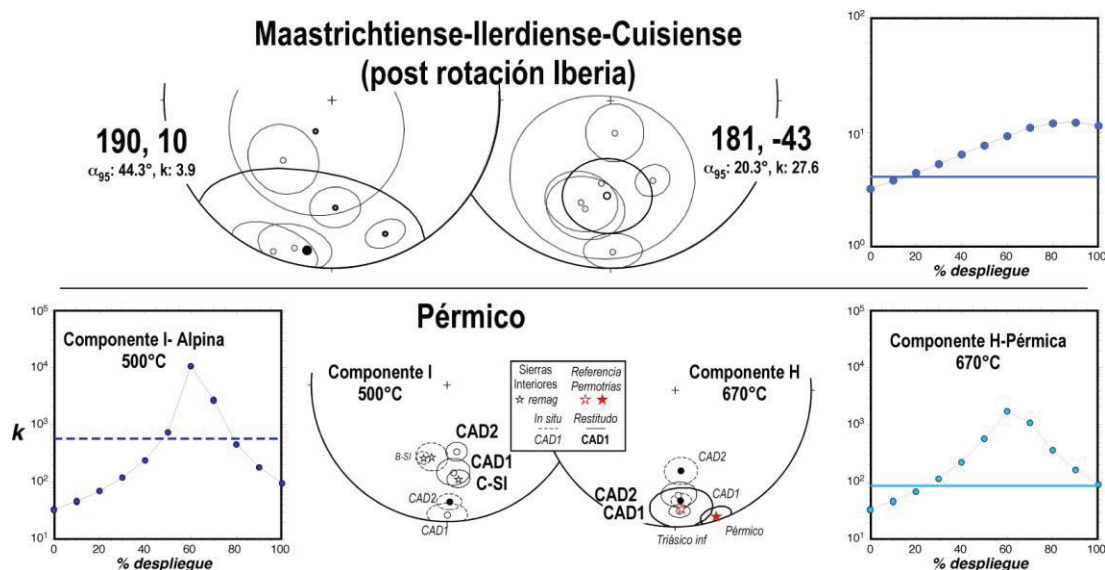


FIGURA 4. Estabilidad de la magnetización en las rocas de la Sierra del Cadi. Parte superior; datos de las rocas del Maastrichtiense y del Cenozoico. k vs despliegue (%) Inferior: Pérmico, las componentes de temperatura intermedia (I) y alta (H) han sido tratadas por separado.

DISCUSIÓN

Todas las muestras estudiadas presentan direcciones de polaridad inversa (Sur) al abatir las capas a la horizontal, lo que ha impedido realizar la prueba de inversión. Sin embargo, datos previos del sinclinal del Ripoll en las series Paleoceno-Eocenas (Burbank et al., 1992) mostraron dos polaridades aunque también una elevada dispersión en las direcciones medias. Las pruebas del pliegue realizadas, con estaciones propias y de trabajos previos sugieren la adquisición previa al plegamiento (Fig. 4). A pesar de la calidad limitada de los datos estas pruebas confirman el carácter primario de la magnetización del Cretácico Superior y del Cenozoico de la Sierra del Cadí.

Sin embargo, los datos de areniscas rojas pérmicas presentan un comportamiento diferenciado. La componente de alta temperatura (500-670°C), muestra un carácter sintectónico no significativo, aunque el hecho de que la inclinación de los datos al restituir al 100% sea ecuatorial y muy similar (Fig. 2) con los datos de Van Dongen (1967) y la referencia Pérmica, indican su carácter primario.

Por otra parte, la componente intermedia (hasta 500°C) es sintectónica y significativa (Fig. 4) con un óptimo al 60% de restitución que predice una dirección 178,-23 (\square_{95} : 2.4° y $k:10^4$). Considerando las edades de plegamiento del manto del Cadí, esta componente es alpina. Tampoco se puede descartar que el apilamiento antiformal responsable del basculamiento hacia el Sur de estas rocas, haya modificado el valor de la inclinación observado en la prueba del pliegue. De hecho la restitución completa de las capas permite observar valores de inclinación muy similares a los encontrados en las componentes de remagnetización cenozoicas descritas en las Sierras Interiores del Pirineo Occidental (Oliva-Urcia y Pueyo, 2007; Izquierdo-Llavall, et al., 2015).

CONCLUSIONES

El Pirineo Oriental también ha sido afectado por procesos de remagnetización, probablemente asociados a la carga del manto del Pedraforca y de la cobertera mesozoico-cenozoica. Es de destacar que la posición y el estilo estructural del manto del Cadí es similar a las de las Sierras Interiores, donde se han caracterizado las remagnetizaciones asociadas a la deformación alpina (Muñoz et al., 1986, Oliva-Urcia y Pueyo, 2007). Se desconoce, la extensión lateral y el posible efecto de esta componente inversa alpina en las magnetoestratigrafías existentes.

Los nuevos datos aportados en la Sierra del Cadí, confirman la ausencia de rotaciones de eje vertical en

el Pirineo Oriental apuntada por otros autores (Keller et al., 1994). Sin embargo, y considerando la calidad de la señal magnética de las rocas cenozoicas, sería más interesante y fiable abordar en el futuro el estudio detallado de rotaciones en las calizas del Maastrichtense o en las areniscas rojas del Pérmico, a la vez que se obtiene información adicional sobre el proceso y extensión de la remagnetización descrita.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado con los Proyectos Pmag3Drest-CGL2009-14214 y DR3AM-CGL2014-55118 del MINECO y del 3DR3-PI165/09 del Gobierno de Aragón.

REFERENCIAS

- Burbank, D.W. et al. (1992): The chronology of the Eocene tectonic and stratigraphic development of the eastern Pyrenean foreland basin, northeast Spain. *Geological Society America Bulletin*, 104: 9: 1101-1120.
- Dinarès, J. et al. (1992): Contrasting rotations within thrust sheets and kinematics of thrust tectonics as derived from palaeomagnetic data: an example from the Southern Pyrenees. In *Thrust tectonics* (pp. 265-275). Springer Netherlands.
- Izquierdo-Lavall, E. et al. (2015): Multi-episodic remagnetization related to diachronous thrusting in the Pyrenean Internal Sierras. *Geophysical Journal International*, 201: 891-914.
- Keller, P. et al. (1994): Palaeomagnetic evidence for post-thrusting tectonic rotation in the Southeast Pyrenees, Spain. *Tectonophysics*, 239 (1): 29-42.
- Muñoz, J. A. et al. (1986): Thrust sequences in the eastern Spanish Pyrenees. *Journal of Structural Geology*, 8 (3): 399-405.
- Oliva-Urcia, B. y Pueyo, E. L. (2007): Rotational basement kinematics deduced from remagnetized cover rocks (Internal Sierras, Southwestern Pyrenees). *Tectonics*, 26 TC4014.
- Ramón, M.J. y Pueyo, E.L. (2012): Automatic calculation of demagnetization intervals; a new approach based on the virtual directions method and comparison with the linearity spectrum analysis. *Geotemas*, 13: 1180-1183.
- San Miguel, G. et al. (2010): Pyrenean Paleomagnetic Database; Concept, state-of-the-art, and web interface design. *Resúmenes MAGIBER VI- Paleomagnetismo en España y Portugal*: 50-53.
- Van der Voo, R. (1990): The reliability of paleomagnetic data. *Tectonophysics*, 184: 1-9.
- Van Dongen, P. G. (1967): The rotation of Spain: palaeomagnetic evidence from the eastern Pyrenees. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 3: 417-432.