

# Primeros datos paleomagnéticos del anticlinal de Barbastro-Balaguer (Sector central del frente pirenaico meridional): implicaciones cinemáticas

## *First paleomagnetic results in the Barbastro-Balaguer anticline (Central sector of the south pyrenean front): kinematics implications*

C. Oliván<sup>1</sup>, E. L. Pueyo<sup>1</sup>, P. Santolaria<sup>1,2</sup>, A. Rodríguez-Pintó<sup>3</sup>, R. Soto<sup>1</sup>, A. Luzón<sup>2</sup>, M.B. Martínez-Peña<sup>4</sup>, A. M. Casas<sup>2</sup> y A. Pocoví<sup>2</sup>.

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

2 Dpto. de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. c/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza. psotin@unizar.es.

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

4 Dpto. de Didáctica Ciencias Experimentales. Universidad de Zaragoza. c/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza

**Resumen:** El anticlinal de Barbastro-Balaguer se sitúa en el sector central del frente pirenaico meridional. En este trabajo se presentan los primeros datos paleomagnéticos realizados en esta estructura que buscan aclarar si existen rotaciones de eje vertical durante su emplazamiento. Se han realizado 19 estaciones distribuidas homogéneamente a lo largo del anticlinal y, mayoritariamente en la Fm Peraltilla (Priabonense). La desmagnetización térmica revela una componente característica de alta temperatura (hasta 650°C o más) que, si bien presenta cierta dispersión, tiene dos polaridades y es preplegamiento. Además, las rotaciones observadas son predominantemente antihorarias, lo que nos hace ser optimistas a la hora de abordar futuros trabajos y que aporten información sobre la cinemática del emplazamiento de esta estructura en relación al frente surpirenaico.

**Palabras clave:** Anticlinal Barbastro-Balaguer, paleomagnetismo, Fm. Peraltilla, frente pirenaico meridional.

**Abstract:** *The Barbastro-Balaguer anticline is located in the central sector of the south pyrenean front. In this work we introduce the first paleomagnetic data in this structure seeking to shed light on whether there are vertical axis rotations related to its emplacement. 19 stations were sampled evenly distributed along the anticline, mostly focused on the Peraltilla Fm. (Priabonian) Thermal demagnetization reveals a high temperature characteristic component (unblocking up to 650°C or more), although it is slightly scattered, displays two polarities and is prefolding. In addition, the observed vertical axis rotations are counter clockwise, which makes us optimistic on future applications of these techniques to provide information on the kinematics of this structure and its relation to the southern Pyrenean front.*

**Key words:** *The Barbastro-Balaguer anticline, paleomagnetism, Peraltilla Fm., the south pyrenean front.*

## INTRODUCCIÓN

El anticlinal de Barbastro-Balaguer se sitúa en el sector central del frente pirenaico meridional. Su gran extensión ( $\approx 150$  km) y moderada longitud de onda, el carácter convexo de su traza hacia el antepaís (con cambios de azimut que pueden oscilar más de 50° entre las terminaciones occidental y la oriental) o el despegue en niveles evaporíticos eocenos, se encuentran entre sus rasgos más destacados (Martínez-Peña y Pocoví, 1988; Senz y Zamorano, 1992).

El análisis paleomagnético de sus rocas podría aportar información muy valiosa sobre la cinemática de la estructura: evaluar el carácter primario o secundario de la curvatura en sus diferentes segmentos o datar con precisión la edad de la deformación aprovechando la existencia de materiales sintectónicos con el plegamiento (y quizás con la rotación diferencial, caso que exista). Por otra parte, la rotación del frente surpirenaico es objeto actual de discusión, no existiendo consenso sobre las edades y magnitudes de

los diferentes periodos de rotación y su relación con el movimiento de las estructuras cabalgantes (Mochales et al., 2012; Muñoz et al., 2013). Además de resolver las cuestiones expuestas sobre su cinemática, el análisis paleomagnético del anticlinal de Barbastro-Balaguer podría ser clave para unificar un modelo sobre la acomodación de las rotaciones en todo el frente surpirenaico.

## SITUACIÓN GEOLÓGICA

La compresión pirenaica durante el Oligoceno superior dio lugar al desarrollo de un pliegue ciego despegado en los yesos eocenos cuya geometría y curvatura está probablemente marcada por la geometría del depósito (extensión lateral y espesor) de la Fm. Yesos de Barbastro y sus equivalentes evaporíticos laterales hacia el E. La estructura permaneció activa posteriormente según un equilibrio de los mecanismos de flotación y carga diferencial (Gil y Jurado, 1998). El diapirismo ha jugado un papel dominante en los estadios finales de la configuración de esta estructura.

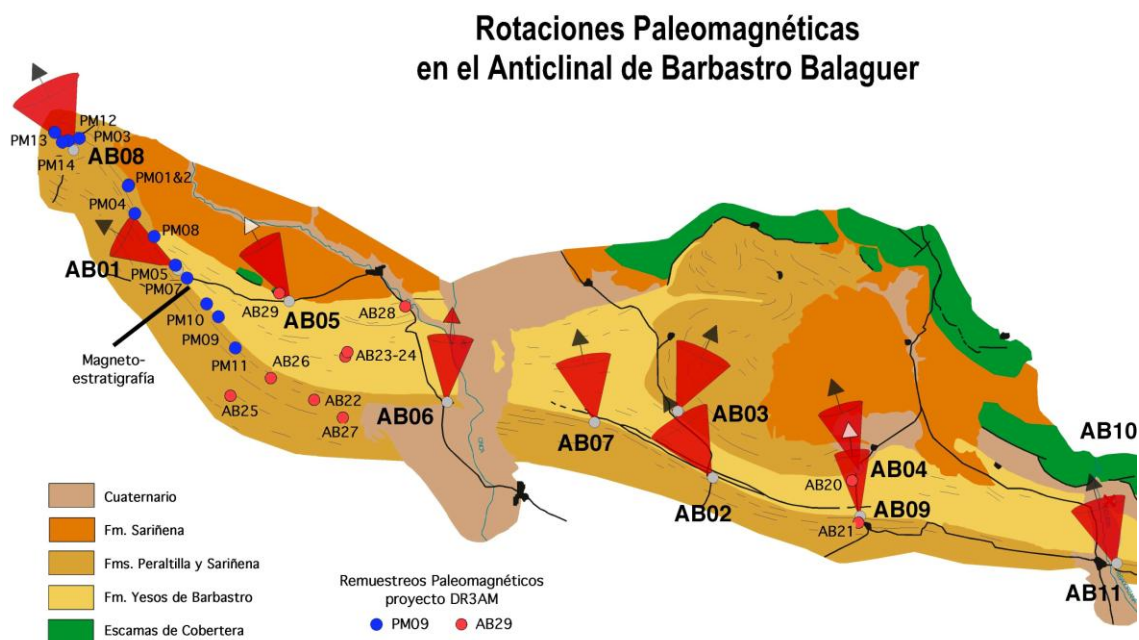


FIGURA 1. Declinaciones paleomagnéticas en el anticlinal de Barbastro Balaguer (cartografía fotogeológica de Martínez-Peña y Pocoví, 1988).

La estratigrafía de la región comprende las evaporitas de la Fm. Yesos de Barbastro (aflorantes en el núcleo del anticlinal) de edad imprecisa pero atribuidos al Priabonense (Luzón, 2005). En los flancos y sobre los yesos se encuentran las formaciones Peraltilla (Rupeliense) y Sariñena (Chatiense-Aquitaniense). En el flanco S existe una paraconformidad aparente de estas formaciones, las cuales van reduciendo gradualmente su buzamiento hacia el Sur. Lateralmente, hacia el Oeste, éstas se acuñan y pierden potencia atestiguando su carácter sintectónico (Luzón, 2005). El flanco N es mucho más complejo; los materiales de la Fm. Sariñena, se depositan discordantes sobre la Fm. Peraltilla que aflora ocasionalmente. La estructura del anticlinal de Barbastro-Balaguer varía lateralmente gradando de un único anticlinal en el sector central a dos ramas que individualizan un sinclinal laxo entre ambas hacia el E. En el sector más occidental de la zona de estudio, la Fm. Peraltilla retrocabalga a la Fm. Sariñena quedando en el bloque inferior la lámina de las Sierras Marginales cabalgando a los autóctonos del Ebro.

## METODOLOGÍA

En el curso de una investigación sobre la anisotropía de la susceptibilidad magnética (Oliván et al., 2008) se obtuvieron 19 estaciones situadas en diferentes posiciones estructurales a lo largo de todo el anticlinal (Fig. 1) cuyos resultados paleomagnéticos se muestran en este trabajo. El muestreo se realizó con una perforadora de gasolina portátil refrigerada orientando las muestras *in situ*. La mayoría de las estaciones se realizaron en la Fm. Peraltilla, salvo AB01 (Fm. Yesos de Barbastro) y AB05 (Cretácico Superior). Los especímenes se desmagnetizaron por el método térmico en el Laboratorio de Paleomagnetismo

de la Universidad de Burgos (horno TD48-DC de ASC y magnetómetro criogénico 2G). En total se han desmagnetizado 190 especímenes. El procesado de datos se ha llevado a cabo con el programa VPD (Ramón y Pueyo, 2012).

## RESULTADOS PALEOMAGNÉTICOS

Todas las rocas estudiadas, salvo AB01 y AB05, son facies rojas de las Fms. Peraltilla y Sariñena que mostraron caídas térmicas de hematites principalmente, entre 300-670°C hacia el origen. A pesar de la simplicidad de las desmagnetizaciones, y probablemente debido al carácter detrítico de la mayoría de las estaciones, la mayoría de las direcciones son de modesta calidad, hecho que atestiguan los valores elevados de los conos de confianza de las medias de estación.

Sin embargo, y salvo una estación con resultados anómalos (AB10), el carácter primario de la magnetización registrada queda avalado por la existencia de las dos polaridades del campo magnético: normal (346,36,  $\square_{95}$ : 15.5°, k: 10.6, n/N: 11/12, R: 0.9055) e inversa (177,-41,  $\square_{95}$ : 24°, k: 8.5, n/N: 7/7, R: 0.8821) que comparten una media común y son estadísticamente antiparalelas. Además, y a pesar del ruido a nivel de estación, la magnetización de las rocas estudiadas también parece ser anterior al plegamiento ya que, una vez transformados todos los vectores a la polaridad normal del campo, la media de las medias de estación en coordenadas geográficas (358,06,  $\square_{95}$ : 24.8°, k: 2.9 n/N: 18/19, R: 0.6769) muestra mucha mayor dispersión (Fig. 3) que tras abatir los datos a la horizontal (351,38,  $\square_{95}$ : 12.3°, k: 8.9, n/N: 18/19, R: 0.8934).

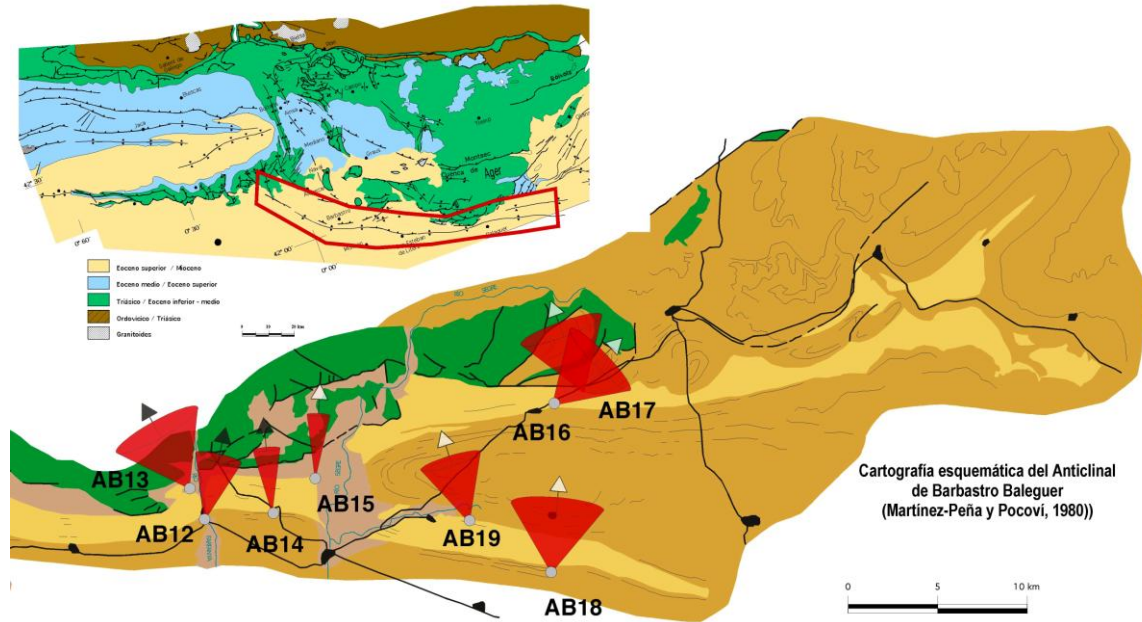


FIGURA 1. (Continuación)

Site/Profile	UTMx (E-W)	UTMy (N-S)	Azimuth	Buz	DD	Tube-min	Tube-max	#	n	N	Dec-bac	Inc-bac	$\alpha_{95}$	K	Pol.	Dec-abc	Inc-abc	$\alpha_{95}$	K
AB01	747681	4660627	152	83	SW	250	570	9	8	8	6	41	20	10	N	300	42	19	11
AB02	277728	4643003	115	111	S	250	620	10	6	8	321	-39	27	9	N	329	33	27	9
AB03	277526	4645625	313	38	NE	300	640	9	7	8	17	45	25	8	N	25	10	25	8
AB04	286184	4641688	243	14	N	240	460	7	8	8	349	70	20	10	N	343	56	20	10
AB05	256476	4657676	118	54	S	200	450	7	7	8	159	8	41	4	R+N(3)	151	-27	41	4
AB06	264461	4650268	91	28	S	240	620	10	7	7	3	16	20	12	N	4	44	20	12
AB07	272788	4646727	126	59	SW	250	650	11	7	8	348	-22	24	9	N	349	20	24	9
AB08	742718	4667912	120	56	S	250	570	9	7	7	4	14	30	6	N	334	59	30	6
AB09	285174	4639490	107	120	S	220	520	8	5	8	174	57	16	31	N	173	-59	16	31
AB10	299721	4636907	305	82	N	250	570	9	6	9	348	39	39	4	N	356	-26	39	4
AB11	299076	4634026	111	50	S	250	590	9	6	8	351	-8	24	10	N+R(1)	344	33	23.6	11
AB12	311587	4632587	85	47	S	250	650	11	7	8	6	4	20	12	N+R(4)	13	51	20.1	12
AB13	309758	4633929	230	35	N	250	540	8	7	8	333	36	35	5	N	331	2	35.5	5
AB14	315513	4631748	104	46	S	250	620	11	6	8	175	16	9	51	R+N(1)	355	26	11.7	32
AB15	317345	4633737	266	57	N	270	650	11	9	9	341	-72	10	31	R	183	-52	10	31
AB16	333997	4636771	235	39	N	250	570	9	5	8	242	-23	31	9	R+N(1)	226	-22	32.4	8
AB17	330901	4635435	92	44	S	250	590	9	5	8	152	36	33	8	R	160	0	32.6	8
AB18	330204	4626808	96	21	S	240	540	8	5	8	186	-25	33	8	R	185	-45	36.4	7
AB19	326027	4630195	280	29	N	270	620	10	8	8	81	-76	27	6	R	163	-62	26.3	6

TABLA I. Datos paleomagnéticos por estación. BAC: datos in-situ (before any correction), ABC: restituidos (after bedding correction). Estratificación según la regla de la mano derecha. (i) invertida. Datos de posición en coordenadas ETRS89 (Zona 30T Norte)

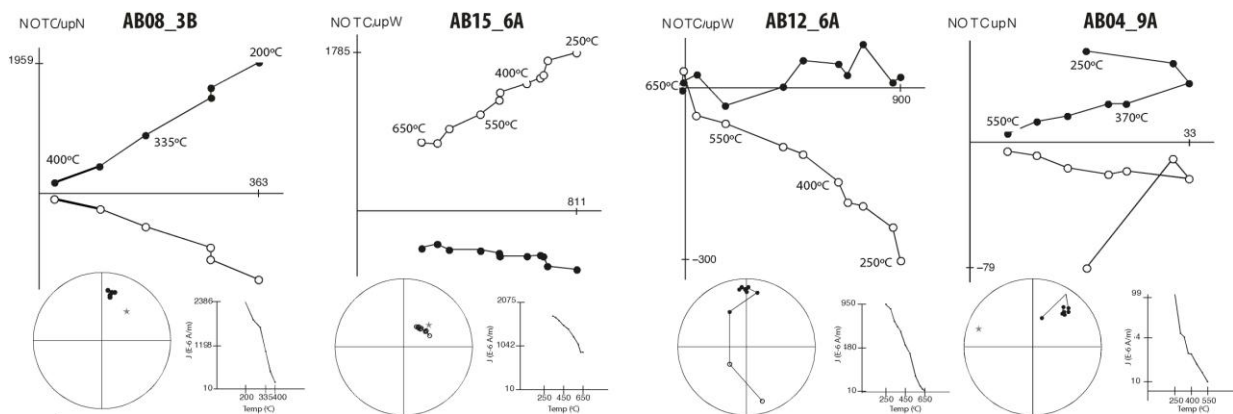


FIGURA 2. Diagramas ortogonales de desmagnetización de muestras seleccionadas. También se incluye la caída de la intensidad de la magnetización frente a la temperatura y la proyección estereográfica.

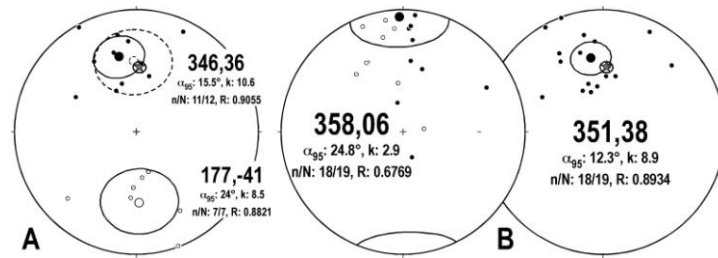


FIGURA 3. Estabilidad de la magnetización en rocas estudiadas en el anticlinal de Barbastro-Balaguer. A) Prueba de inversión, proyección de las medias de estaciones de las dos polaridades. B) Proyección estereográfica de las medias de las estaciones estudiadas antes (izda) y después (dcha) de la restitución a la horizontal. Todas las estaciones transformadas a polaridad normal del campo. La estrella refleja la referencia paleomagnética.

Las rotaciones de eje vertical se han calculado considerando la diferencia entre los valores de las estaciones con la referencia paleomagnética cercana. Para ello se ha calculado la media de los perfiles magnetoestratigráficos del Ebro Central (Pérez-Rivarés, 2016), que si bien son más jóvenes (Mioceno), no están afectados por procesos de deformación de ninguna índole:  $\alpha_{95} = 4.3^\circ$ ,  $k = 143.6$ ,  $n = 10$ ,  $R = 0.9930$ ). En promedio y en contra de lo que cabría esperar, la mayoría de las estaciones parece haber registrado una rotación predominantemente antihoraria que oscila entre los  $-60^\circ$  y los  $+35^\circ$ . Sorprendentemente, los valores negativos más elevados se encontraron en la terminación occidental del anticlinal, aquella que presenta un azimut N150E más desviado de la dirección pirenaica N110E, hecho que debería ser corroborado por un aumento de acortamiento acomodado hacia el Oeste.

## CONCLUSIONES Y PLANES DE FUTURO

Los análisis paleomagnéticos llevados a cabo en el anticlinal de Barbastro-Balaguer permiten concluir que:

- La magnetización característica de las muestras es primaria ya que presenta las dos polaridades del campo magnético terrestre y es anterior al plegamiento. Este hecho permitirá realizar estudios magnetoestratigráficos en el futuro en el marco del proyecto DR3AM. Además, la existencia de materiales sintectónicos permitirá caracterizar con precisión la cinemática del anticlinal (edad de plegamiento).

- Las rotaciones detectadas parecen indicar la existencia de rotaciones antihorarias en promedio, si bien por el momento no se pueden distinguir con precisión posibles rotaciones diferenciales a lo largo de la estructura.

- La calidad de la señal obtenida en las rocas detríticas de las formaciones Peraltilla y, sobre todo, Sariñena, presenta un ruido elevado, lo que ha condicionado y condicionará los nuevos muestreos que se hagan en el futuro que se centrarán en facies más lutíticas (Fig. 1).

## AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado con el Proyecto DR3AM-CGL2014-55118 del MINECO.

## REFERENCIAS

- Gil, J.A. y Jurado, M.J. (1998): Geological interpretation and numerical of salt movement in the Barbastro-Balaguer anticline, southern Pyrenees. *Tectonophysics*, 293: 141-155.
- Luzón, A. (2005): Oligocene-Miocene alluvial sedimentation in the northern Ebro Basin, NE Spain: Tectonic control and palaeogeographical evolution. *Sedimentary Geology*, 177, 1-2: 19-39
- Martínez Peña, M. B. y Pocoví, A. (1988): El amortiguamiento frontal de la estructura de la cobertera surpirenaica y su relación con el anticlinal de Barbastro-Balaguer. *A. Geol. Hisp.* 23 (2): 81-94.
- Mochales, T., Casas, A. M., Pueyo, E. L. y Barnolas, A. (2012): Rotational velocity for oblique structures (Boltaña anticline, Southern Pyrenees). *Journal of Structural Geology*, 35: 2-16.
- Muñoz, J. A., Beamud, E., Fernández, O., Arbués, P., Dinarès-Turell, J. y Poblet, J. (2013): The Ainsa Fold and thrust oblique zone of the central Pyrenees: Kinematics of a curved contractional system from paleomagnetic and structural data. *Tectonics*, 32(5): 1142-1175.
- Pérez Rivarés, J. (2016): *Estudio magnetoestratigráfico del Mioceno del Sector Central de la Cuenca del Ebro: cronología, correlación y análisis de la ciclicidad sedimentaria*. Tesis Doctoral Universidad de Zaragoza.
- Oliván, C., Pueyo, E. L., Pocoví, A., Luzón, A. y Martínez Peña, M. B., (2008): Fábricas magnéticas (ASM) en el anticlinal de Barbastro-Balaguer (Pirineo Central): implicaciones cinemáticas. *Geotemas*, 10: 1239-1242.
- 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.
- Senz, J. G., y Zamorano, M. (1992): Evolución tectónica y sedimentaria durante el Priabonense superior-Mioceno inferior, en el frente de cabalgamiento de las Sierras Marginales occidentales. *Acta geológica hispánica*, 27(1-2): 195-209.