

## Modelo de rotación del abanico de pliegues de Jánovas (anticlinal de Boltaña, Pirineos)

### *Rotational model of the Jánovas fold fan system (Boltaña anticline, Pyrenees)*

T. Mochales<sup>1,2</sup>, E. Pueyo<sup>2</sup>, A. Barnolas<sup>1</sup> y A. Casas<sup>3</sup>

1 Instituto Geológico y Minero de España, c/ Calera 1, 28760 Madrid. taniamochales@gmail.com, tonibarnolas@hotmail.com

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

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

**Resumen:** La zona de Jánovas presenta una superposición de pliegues resultado de eventos no coaxiales. La corrección de capa de los vectores paleomagnéticos en el sistema de coordenadas original ha sido realizada de modo secuencial, siguiendo el orden inverso de los eventos de deformación, y comparada con la clásica corrección de capa. La restitución secuencial da lugar a medias mejor agrupadas, constituyendo una puerta abierta a la reconstrucción en zonas con superposición de pliegues. Por medio de las orientaciones obtenidas de la restitución secuencial, hemos determinado un modelo de edad para la zona de Jánovas, estableciéndose, una tasa de acumulación creciente, de acuerdo con la continentalización de la cuenca hacia el Bartonense. El modelo de rotación obtenido presenta amplios errores debido a la presencia de intervalos heterogéneos de muestreo, evidenciando la necesidad de densificar el muestreo entre 50 y 45 Ma, para afinar la tendencia de rotación y principalmente entre 38 y 35 Ma donde se produciría el final de la rotación horaria del anticlinal de Boltaña

**Palabras clave:** modelo rotacional, rotaciones de eje vertical, restitución secuencial, Jánovas, Pirineos.

**Abstract:** *The Jánovas sector presents a pattern of fold superposition as a consequence of non-coaxial folding. Step-by-step bedding correction of paleomagnetic vectors to the original coordinate system has been carried out considering the reverse sequence of tectonic events. Comparison with classical one-step bedding correction indicates better results and clustered means for sequential restoration, thus providing an improved methodological approach. From the obtained orientations by means of sequential restoration, we have established an age-rotation model for the Jánovas sector, defining an increasing accumulation rate consistent with basin continentalization during Bartonian times. The obtained rotation model shows significant errors derived from heterogeneous sampling along the stratigraphic log, that demonstrates the necessity of a denser sampling within the 50-45 Ma period, to clearly define the trend of rotation and the 35-38 Ma period, where the total rotation of the Boltaña anticline occurred.*

**Key words:** rotation model, vertical axis rotations, sequential restoration, Jánovas, Pyrenees.

## INTRODUCCIÓN

El anticlinal de Boltaña es una estructura de orientación N-S, oblicua a la orientación ESE-ONO Pirenaica, de importancia clave para comprender la cinemática del extremo W de la Unidad Surpirenaica Central (USPC). Prueba de ello son los numerosos estudios realizados desde el punto de vista del paleomagnetismo (Dinarès-Turell et al., 1992; Pueyo, 2000; Fernández-Bellón, 2004; Mochales et al., 2012a; Beamud, 2013; Muñoz et al., 2013; Mochales et al., 2016). Una vez definida la magnitud de la rotación, controlar su edad y velocidad es el siguiente paso en la comprensión de la cinemática de las estructuras. El anticlinal de Boltaña es una de las estructuras mejor datadas, y sin embargo, aún quedan muchas cuestiones sobre su cinemática por determinar. Se interpreta que el anticlinal de Boltaña se formó con una orientación inicial NO-SE durante el Luteciense Inferior a partir de un cabalgamiento de vergencia oeste, que despega en

materiales triásicos y corta la pila Ypresiense situada en el núcleo. A continuación el anticlinal rotó (45-55° de rotación horaria, CW), en relación con el emplazamiento de cabalgamientos más jóvenes en la zona Axial (cabalgamientos de Bielsa y/o Guara-Gèdre), moderadamente durante el Luteciense y más intensamente durante el Bartonense/Priabonense (Mochales et al., 2012a), situando al anticlinal en su posición N-S actual. Sin embargo, Muñoz et al. (2013) argumentan que el plegamiento y rotación de Boltaña fueron simultáneos desde una etapa incipiente, cuando el anticlinal comenzó con una orientación NO-SE, hasta el final del plegamiento (Luteciense Superior - Bartonense), obteniendo valores de rotación desde 80° CW a ~20°. Estos autores, proponen un valor de rotación de fondo de 15-20° debido a la lámina de cabalgamiento de Gavarnie-Sierras Exteriores.

En el área de Jánovas (flanco occidental del anticlinal de Boltaña), hay una secuencia de pliegues

de orientación variable entre WNW–ESE y N–S, que parecen no estar relacionados con la cuña de *growth strata*, sino que post-datan el plegamiento del anticlinal. Esta deformación es producida por la propagación del plegamiento hacia el antepaís como consecuencia de la rotación. Posteriormente, el cabalgamiento basal de Guarga (desde el Rupeliense al Mioceno temprano) es el responsable de las amplias rampas frontales en las Sierras Exteriores así como del basculamiento hacia el sur de las unidades septentrionales (como la zona de Jánovas), dando lugar al sinclinal de Guarga de dirección WNW–ESE

Las unidades litológicas que conforman el abanico de capas entre el techo de la Fm Boltaña y la discordancia de Campodarbe (Luteciense a Priaboniense) de la zona de Jánovas registraron estos tres episodios sucesivos de deformación, parcialmente coetáneos y no coaxiales: plegamiento, rotación de eje vertical y basculamiento oblicuo y pasivo de la estructura. Este trabajo está enfocado a averiguar la cronología del abanico de pliegues de la zona de Jánovas y sus posibles implicaciones en la cinemática de la rotación que sólo ha sido abordada hasta ahora en el flanco E (Mochales et al., 2012a y Muñoz et al., 2013).

## CONTEXTO GEOLÓGICO

Sobre la Fm Boltaña, (Cuisiense inferior y medio) que corresponde a una plataforma somera mixta, se disponen directamente un abanico de capas que

incluyen las turbiditas del Grupo Hecho (Cuisiense superior a Luteciense medio), las facies deltaicas de la Fm Sobrarbe (Luteciense medio y superior), facies transicionales de la base del Bartonense (equivalentes en facies, no en edad, a las areniscas de Belsúe – Atarés) y las facies rojas del Grupo Campodarbe (Bartoniense a Oligoceno inferior), las cuales llegan a superponerse en discordancia angular y erosiva sobre la Fm Boltaña.

El contacto entre la Fm Boltaña y el Grupo Hecho hacia el norte es un talud erosivo que pasa a una superficie de inundación (*drowning unconformity*) hacia el sur (Barnolas y Teixell, 1994). La disposición en *onlap* de las turbiditas del Grupo Hecho sobre esta estructura sedimentaria implica que, en el área de Jánovas, entre ambas unidades existe un hiato sedimentario que puede implicar a todo el Cuisiense superior y parte del Luteciense inferior. Esta estructura es previa al pliegue del anticlinal de Boltaña (Barnolas y Teixell, 1994). Con posterioridad a este *onlap*, las capas del Grupo Hecho, que está representado casi exclusivamente por margas y margocalizas, se dispone en abanico de capas relacionado con el crecimiento del anticlinal de Boltaña. Al sur de Jánovas, junto al anticlinal de Boltaña se observa una discordancia angular sobre la que se encuentra un canal turbidítico (areniscas de San Felices). Esta entrada de material siliciclástico se corresponde con la base de la Fm Sobrarbe aunque aquí, ya en facies claramente turbidíticas (Gp. Hecho).

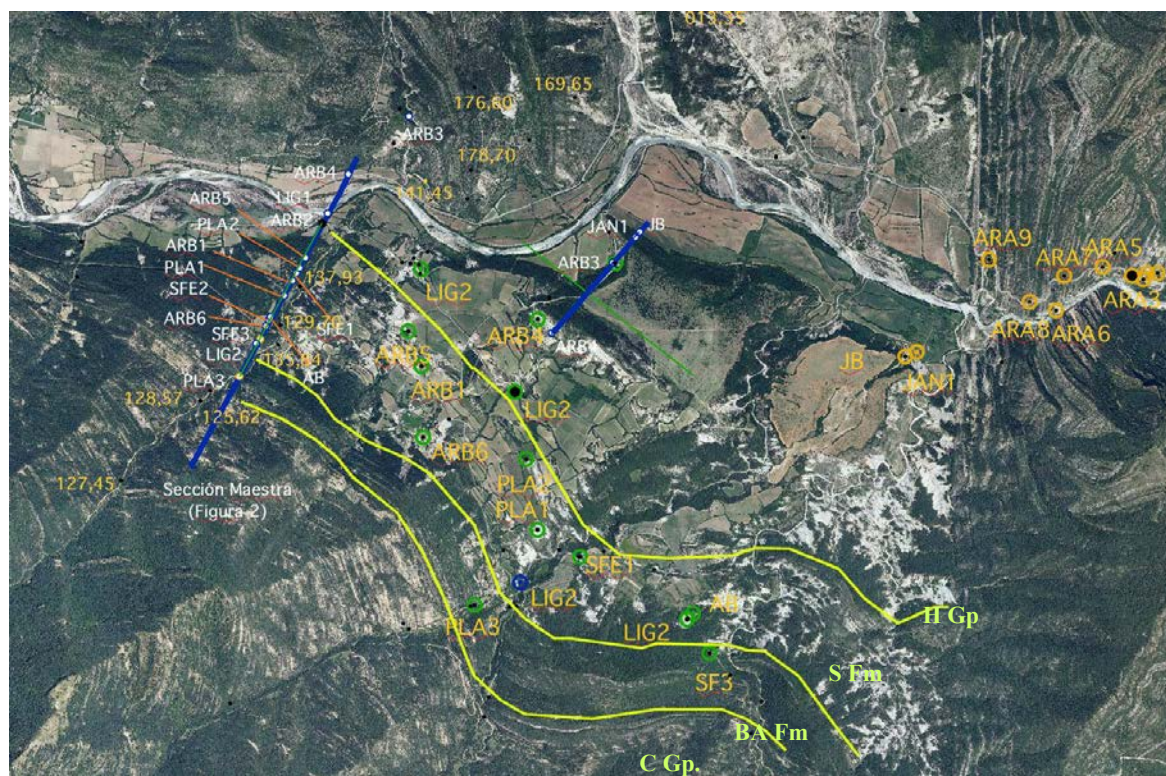


FIGURA 1. Área de Jánovas con la situación de la estaciones (amarillo) incluidas en este trabajo (UTM 30N, ETRS89) y su correlación lateral para construir la sección tipo (azul) sobre la que se han realizado los cálculos de velocidad de rotación.

Por encima de este canal, la secuencia se someriza rápidamente produciéndose el depósito de las capas deltaicas con bancos de nummulites intercalados de la Fm Sobrarbe. El tránsito entre la Fm. Sobrarbe y las facies transicionales atribuidas al Bartonense inferior (C18r) es, probablemente, una discontinuidad. Sobre estas facies el Grupo Campodarbe se dispone en ligero *onlap* sobre una superficie erosiva que afecta al anticlinal de Boltaña.

## METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Se muestrearon 13 estaciones en el flanco W de Boltaña, al norte del sinclinal del Guarga, abarcando desde el C20r (Luteciense medio) al C18r (Bartonense inferior). Cinco estaciones de otros autores fueron también consideradas (Pueyo, 2000; Fernández-Bellón, 2004). Se realizaron desimanaciones térmicas detalladas con magnetómetros criogénicos 2G (INGV-Roma y UB-CSIC-Barcelona). La desimanación en tres ejes realizada sobre 13 muestras, indicó que magnetita con contenidos variables en sulfuros de hierro son los portadores de la magnetización (Mochales et al., 2016). Las rotaciones se obtuvieron por medio de restitución secuencial; su ordenación estratigráfica (Fig. 1) ha servido para establecer la cronología de este trabajo y su consistencia con la cronología establecida en Mochales et al. (2012b) en el flanco E (Fig. 2 y tabla I). Se ha determinado la edad absoluta a partir de la escala global de polaridad geomagnética (Ogg, 2012)

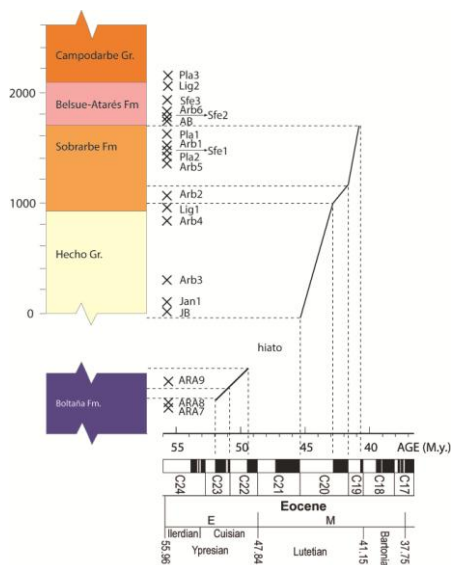


FIGURA 2. Área de Jánovas con la situación de las muestras y correlación con la escala de polaridad geomagnética (Ogg, 2012)

## INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN

Por medio de la datación de las estaciones de la zona de Jánovas hemos podido establecer una relación cronoestratigráfica tentativa de la secuencia estratigráfica (Fig. 2). El límite entre el Gp. Hecho y la Fm. Campodarbe se situaría en el C20r, una datación que no coincide con la establecida en Mochales et al. (2012b). El techo de la Fm. Sobrarbe se sitúa en el

C19r, una edad que coincide con la de Mochales et al. (2012b). Las facies transicionales a la base del Bartonense (facies equivalentes a Belsué – Atarés, pero no en edad) tendrían su base en el C19r y su techo por determinar entre el C19n y C18r. De acuerdo con el muestreo realizado, el C19n no aparece registrado. El Gp. Campodarbe tendría su base en el C18r, siendo relativamente más joven que la Fm Escanilla (Mochales et al., 2012b).

Site	Alt. (m)	Dec	$\square_{95}$	Cr	Abs T	Fm
CAMI		346	21	15r?	35,6	C
PLA3	2135	200	7,6	18r	39,8	Gp.
LIG2	1926	214	20	18r	40	BA Fm.
SFE3	1891	236	11,7	19r	40,3	
ARB6	1809	189	11,7	19r	40,5	
SFE2	1776	247	15,5	19r	40,6	
AB	1751	206	7,5	19r	40,7	
PLA1	1607	210	28,3	19r	40,9	S Fm.
ARB1	1509	221	7,1	19r	41,1	
SFE1	1460	166	12,3	19r	41,2	
PLA2	1422	199	10	19r	41,3	
ARB5	1358	188	27,8	19r	41,5	
ARB2	1058	37	28,1	20n	42,8	H Gp.
LIG1	997	212	22	20r	42,9	
ARB4	837	209	33,3	20r	43,2	
ARB3	265	3	9,9	20r	44,5	
JAN1	46	237	13	20r	45	
JB	0	249	16,9	20r	45,2	B Fm
ARA9		229	35,9	22r	50,2	
ARA8		249	13,7	23r	52,1	
ARA7		245	24,7	23r	52,7	

TABLA I. Site. Estación; Alt. Altura estratigráfica de la estación (m); Dec. Declinación magnética;  $\square_{95}$ ; Cr. Cron; Abs. T. Tiempo absoluto; Fm. Formación. CB Fm. Formación Boltaña; H Gp. Grupo Hecho; S Fm. Formación Sobrarbe; BA Fm. Formación Belsué-Atarés; C Gp. Grupo Campodarbe. JB y AB (Fernández-Bellón, 2004), LIG1, LIG2 y CAMI (Pueyo, 2000), ARA7-9 (Mochales et al. 2012), estaciones restantes (Mochales et al. 2016).

Gracias a la calibración cronológica hemos podido asignar una edad a cada estación donde la declinación magnética aparece rotada respecto a la referencia (Tabla I). Las estaciones comprenden edades de 45,2 a 35,6 Ma con valores que varían de 65° de rotación horaria (CW) a 14° de rotación antihoraria (CCW). Se observa que las estaciones presentan un  $\square_{95}$  moderadamente elevado (Fig. 3). Sin embargo se observa una caída de la magnitud de rotación. El agrupamiento de estaciones en promedios por Cron (Fig. 3, curva azul) nos ha permitido obtener una tendencia relativamente bien caracterizada entre 51,6 y 37,7 Ma (Fig. 3) desde valores de 62° a 3° de rotación horaria, a lo largo del Eoceno Inferior y Medio. Si



comparamos las curvas obtenidas para el flanco E (curva azul, Mochales et al, 2012a) y el flanco O (curva roja, este trabajo) se observan tendencias similares, donde la mayor aceleración de la rotación se produce durante el periodo Bartonense/Priabonense en el flanco E, mientras que la rotación finalizaría en el límite Bartonense/Priabonense en el O. Hay que tomar estos datos con precaución puesto que el intervalo muestreado en el flanco W (Jánovas) es mucho menor.

Por tanto este estudio, permite alcanzar las siguientes conclusiones y planear las siguientes acciones futuras:

-Las unidades estudiadas presentan edades similares a las establecidas en Mochales et al. (2012b), a excepción de la base de la Fm. Sobrarbe, que habría que estudiar con mayor detenimiento en el flanco W del anticlinal.

-La obtención de futuras estaciones en los crones de polaridad normal C20n y C19n permitirá establecer un modelo de rotación más fiable, obteniendo también tasas de acumulación realistas para las unidades estudiadas.

-Un control de la velocidad de rotación en los crones más modernos (C18-C15), podría determinar el momento de mayor velocidad de rotación posiblemente producido 38 a 35 (Ma).

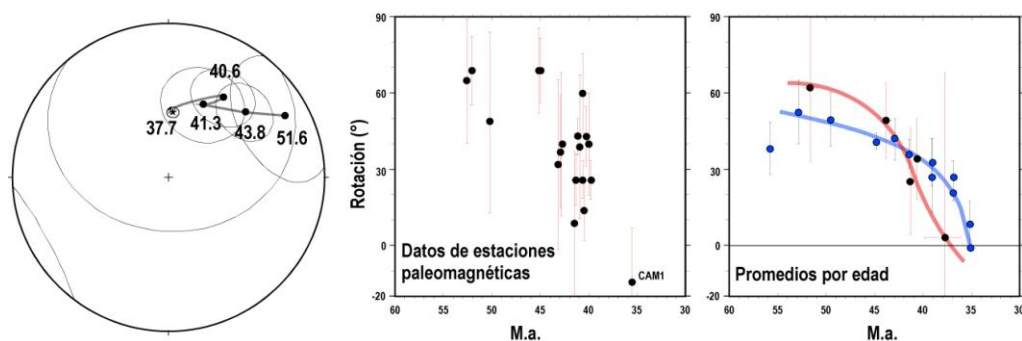


FIGURA 3. Medias por crones y su evolución temporal; valores de rotación de estaciones y promedios de edad. Estrella; referencia Eocena en Boltaña (Mochales et al., 2012)

## AGRADECIMIENTOS

Proyectos DR3AM CGL2014-54118-MINECO y CGL2008-00809/BTEMICINN), ChronoPyr (IGME-346), 3DR3(PI165/09 G. Aragón), Bases Europa (CAI-DGA). F. Speranza, M. Maffione, V. Lafuente y P.L. Mochales ayudaron con medidas y trabajo de campo.

## REFERENCIAS

- Beamud, E. (2013): *Paleomagnetism and thermochronology in tertiary syntectonic sediments of the South-central Pyrenees: chronostratigraphy, kinematic and exhumation constraints*. Tesis doctoral, Univ. de Barcelona, 251 p.
- Barnolas, A., Teixell, B. (1994): Platform sedimentation and collapse in a carbonate-dominated margin of a foreland basin (Jaca basin, Eocene, southern Pyrenees). *Geology*, 22: 1107-1110.
- Dinarès-Turell, J., McClelland, E., Santanach, P. (1992): Contrasting rotations within thrust sheets and kinematics of thrust tectonics as derived from palaeomagnetic data: an example from Southern Pyrenees. En: *Thrust Tectonics* (K.R. McClay, ed.). Chapman and Hall, London, 265–275.
- Fernández-Bellón, O. (2004): *Reconstruction of geological structures in 3D. An Example from the Southern Pyrenees*. Tesis Doctoral, Univ. de Barcelona, 321 p.

- Mochales, T., Casas, A.M., Pueyo, E.L., Barnolas, A. (2012a): Rotational velocity for oblique structures (Boltaña anticline, southern Pyrenees). *J. Struct. Geol.* 35: 2–16.
- Mochales, T., Barnolas, A., Pueyo, E.L., Serra-Kiel, J., Casas, A.M., Samsó, J.M., Ramajo, J., Sanuan, J. (2012b): Chronostratigraphy of the Boltaña anticline and the Ainsa Basin (Southern Pyrenees). *Geol. Soc. Am. Bull.* 124 (7–8): 1229–1250.
- Mochales, T., Pueyo, E.L., Casas, A.M., Barnolas, A. (2016): Restoring paleomagnetic data in complex superposed folding settings: The Boltaña anticline (Southern Pyrenees). *Tectonophysics* 671: 281–298.
- Muñoz, J.A. Beamud, E., Fernández, O., Arbués, P., Dinarès-Turell, J., 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.
- Ogg, J.G. (2012): Geomagnetic Polarity Time Scale. En: *The Geologic Time Scale 2012* (F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz, G.M. Ogg, eds.), Elsevier Publ., 85-114.
- Pueyo, E.L., (2000): *Rotaciones paleomagnéticas en sistemas de pliegues y cabalgamientos. Tipos, causas, significado y aplicaciones (ejemplos del Pirineo Aragonés)*. Tesis doctoral. Univ. de Zaragoza, 296 p.