

## Magnetoestratigrafía del Cretácico Superior del sector Occidental de las Sierras Exteriores (Pirineo Occidental); implicaciones bioestratigráficas

### *Magnetostratigraphy of the Upper Cretaceous in the western External Sierras (Southwestern Pyrenees): biostratigraphic implications*

E.L. Pueyo<sup>1</sup>, E. Sánchez<sup>2</sup>, J.I. Canudo<sup>3</sup>, X. Pereda-Suberbiola<sup>4</sup>, E. Puértolas-Pascual<sup>3</sup>, J. Parrilla-Bel<sup>3</sup>, P. Cruzado-Caballero<sup>5</sup>, M. Pérez-Pueyo<sup>3</sup> y F. Compaired<sup>6</sup>

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

2 Universidad de Burgos, Facultad de Ciencias, Dpto. de Física, Pz/ Misael Bañuelos s/n, 09001 Burgos. eemsanchez@ubu.es

3 Aragosaurus-IUCA, Paleontología, Dpto. Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, 50009, Zaragoza, jicanudo@unizar.es

4 Universidad del País Vasco/EHU, Dpto. Estratigrafía y Paleontología, Apdo. 644, 48080 Bilbao, xabier.pereda@ehu.es

5 CONICET—Universidad Nacional de Río Negro, Roca, Río Negro, Argentina, pccaballero@unrn.edu.ar

6 Servicio de Planificación y Gestión Forestal. Dpto. Medio Ambiente. Gobierno de Aragón, fcompaired@aragon.es

**Resumen:** El Cretácico Superior del sector más Occidental de las Sierras Exteriores (S<sup>a</sup> de Sto. Domingo) está escasamente representado en potencia pero presenta las facies más someras y transicionales donde se han recuperado recientemente restos de vertebrados fósiles (Osteichthyes, Chondrichthyes y Dinosauria), algunos de los cuales son de carácter continental. En este trabajo se presentan los resultados del análisis magnetoestratigráfico llevado a cabo en 4 secciones de pequeña potencia situadas entre los meridianos de San Felices y de Luesia (Prov. de Zaragoza). La magnetización característica de estas rocas es estable, primaria y muestra dos polaridades del campo magnético. La correlación tentativa entre perfiles, unida al conocimiento de las asociaciones de vertebrados existente en la cuenca de Graus-Tremp, permiten proponer una correlación preliminar que relacionaría los niveles fosilíferos con el cron C32n (Campaniense) y las facies Garum con los cronos C29r, C29n y C28r (Maastrichtiense y Daniense) de la escala global de polaridad magnética. Esta correlación conlleva un hiato sedimentario durante el Maastrichtiense que deberá ser revisado en futuros estudios sedimentológicos.

**Palabras clave:** Cretácico Superior, magnetoestratigrafía, Campaniense, dinosaurios.

**Abstract:** *The Late Cretaceous in the westernmost sector of the External Sierras (Sto. Domingo range) is poorly represented but displays transitional facies where remains of continental and marine fossil vertebrates (Osteichthyes, Chondrichthyes and Dinosauria) were recently discovered. This paper introduces the preliminary magnetostratigraphic results carried out in 4 small sections. The characteristic magnetization of these rocks is stable, primary and shows two polarities of the magnetic field. A tentative correlation considering our local sequence of polarities and the chronostratigraphy of vertebrates from the Graus-Tremp basin relates the fossil locality with the chron C32n (Campanian) and the Garum facies with C29r, C29n and C28r (Maastrichtian and Danian). This correlation implies a hiatus during the Maastrichtian that should be confirmed in future sedimentological studies.*

**Key words:** *Late Cretaceous, magnetostratigraphy, Campanian, dinosaurs.*

### INTRODUCCIÓN

Las Sierras Exteriores Altoaragonesas son el relieve generado por la emersión del cabalgamiento basal surpirenaico despegado en las facies Keuper y que, en sus primeras fases de deformación, afecta a una cobertera predominantemente marina (Cretácico-Eocena) muy adelgazada que se acuña tanto hacia el Sur como hacia el Oeste. En su extremo más Occidental (Sierra de Sto. Domingo) se encuentran los últimos vestigios de afloramientos de las rocas del Cretácico Superior atribuidos por Arqued et al. (1986) a las Fms. Adraent y Bona de Mey (1968) siguiendo la definición de facies del Pirineo Oriental y posteriormente redefinidos en su parte basal a la Fm. Salinas de Jaca (Alegret y Aurell, 1999).

El Cretácico Superior de la parte central del Pirineo Meridional posee una gran riqueza paleontológica de vertebrados fósiles, y en particular de dinosaurios (Canudo et al., 2016). La mayoría de los yacimientos estudiados hasta el momento se encuentran en las Fms. Arén y Tremp que afloran principalmente en los sinclinales de Tremp y Àger dentro de la Unidad Surpirenaica Central. El descubrimiento fortuito de una vértebra caudal de dinosaurio ornitópodo (MPZ 2013/1) en la S<sup>a</sup> de Sto. Domingo es la evidencia más occidental y meridional de presencia de estos arcosaurios en el Pirineo, hecho que nos ha motivado a realizar un estudio magnetoestratigráfico, ya que hasta la actualidad no existía ningún trabajo paleomagnético reseñable en las rocas cretácicas de las Sierras Exteriores (Pueyo et al., 2003).

## ESTRATIGRAFÍA

El Cretácico Superior de las Sierras Exteriores se conoce desde antaño (Dalloni, 1910) y su edad está acotada entre el Santoniense ( $\approx 83-86$  m.a.) y el Maastrichtiense ( $\approx 65-71$  m.a.). Las rocas del Santoniense señalan una transgresión generalizada y a partir de ese momento una plataforma marina poco profunda ocupa esta parte del Pirineo en la que también se distinguen puntualmente facies continentales o transicionales. En el sector central se distinguen tres formaciones de base a techo (Alegret y Aurell, 1999): 1) Fm. Salinas de Jaca con dos miembros; Longás de edad Santoniense inferior y Arguis de edad Santoniense-Campaniense. 2) Calizas bioclásticas de la Fm. Sta. Eulalia de la Peña de edad Campaniense y potencias máximas de 40 m y grandes variaciones laterales. 3) Calizas dolomíticas de la Fm. Nueno en la que se diferencian dos tramos; uno inferior (30 m) en el que alternan margas negras y calizas (Campaniense superior) y otra superior (50 m) de calizas y dolomías blanquecinas (Maastrichtiense). Por encima se encuentran las características facies rojas continentales del Garumniense, en las cuales se sitúa el límite Cretácico-Paleógeno. Sin embargo, la estratigrafía y sedimentología del Cretácico Superior no ha sido abordada en detalle en el sector Occidental donde las facies descritas en la zona central no son necesariamente extrapolables.

## MAGNETOESTRATIGRAFÍA

Debido a la reducida potencia de la serie cretácica en el sector occidental y a las dificultades para muestrear perfiles completos por la densidad de la vegetación, se han realizado cuatro pequeños perfiles

en diferentes posiciones del sector más occidental de las Sierras Exteriores. Tres de los perfiles (siempre con potencias inferiores a 30 m) se localizan en el flanco Sur del anticlinal de Sto. Domingo (KS01,03 y 04), otro en el Norte (KS02) que paleogeográficamente representarían una posición mucho más interna en la cuenca cretácica ( $\approx 15$  km). Las muestras se obtuvieron en el campo con una perforadora portátil y se desmagnetizaron por el método térmico en el Laboratorio de Paleomagnetismo de la Universidad de Burgos (horno TD48-DC (ASC) y magnetómetro 2G). En total se han desmagnetizado 55 especímenes, 11 por perfil. También se han reevaluado dos estaciones paleomagnéticas previas; GA2, y GA03 (Pueyo et al., 2003) que se ubican inmediatamente a techo de los perfiles KS01 y KS02 respectivamente. El procesado de datos se ha llevado a cabo con el programa VPD (Ramón y Pueyo, 2012). Las rocas del Cretácico Superior muestran susceptibilidades y valores de NRM bajos ( $< 100 \cdot 10^{-6}$  S.I. y  $< 1$  mA/m) si bien las facies *Garum* y las facies de la Unidad de San Felices presentan valores de NRM mucho mayores (hasta  $51.56 \cdot 10^{-3}$  mA/m). Las direcciones características (ChRM) son mono-componentes por encima de la dirección viscosa habitual (hasta  $150-200^\circ\text{C}$ ). Las rocas del Cretácico se desmagnetizan a temperaturas inferiores a  $500^\circ\text{C}$ , mientras que las facies rojas del *Garum* llegan a alcanzar los  $675^\circ\text{C}$ . Las ChRM de las muestras presentan cierto ruido pero polaridades claras (figura 2). Por otra parte, la dispersión de las medias de los perfiles es en general baja ( $\square_{95}$  siempre por debajo de  $20^\circ$  y  $k > 10$ ). Con la única excepción del perfil KS03, cuya media presenta un valor aparentemente anómalo (WNW), el resto de las direcciones y medias son meridianas con inclinaciones esperables (figura 3).

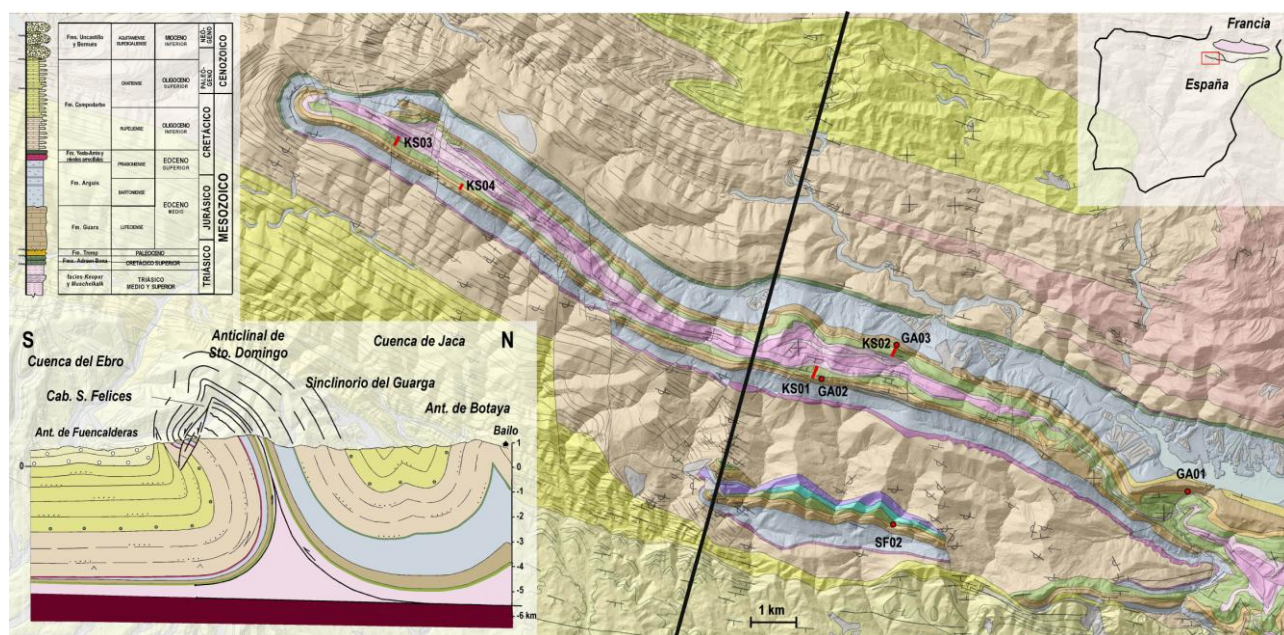


FIGURA 1. Mapa Geológico del sector Occidental de las Sierras Exteriores (modificado de la Hoja MAGNA 2008-Uncastillo Teixell et al., 2009). También se incluye un corte geológico y una columna sintética (Millán, 1996).

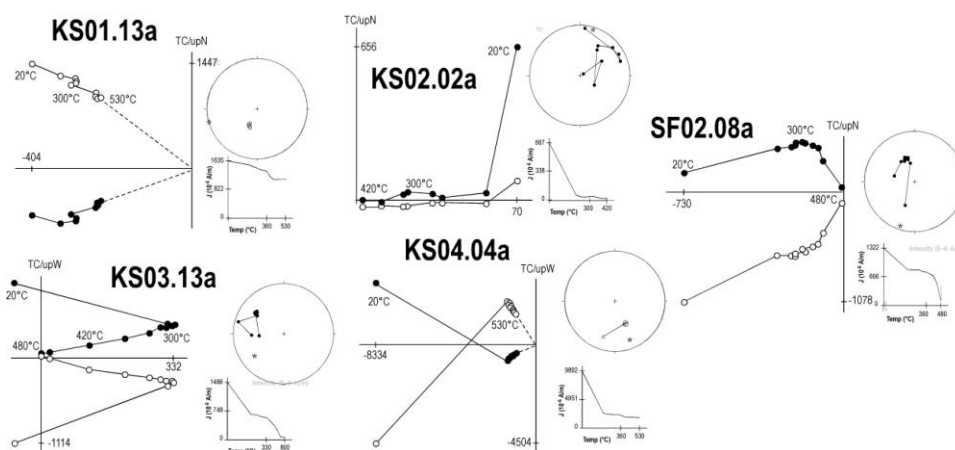


FIGURA 2. Diagramas ortogonales de desmagnetización de muestras seleccionadas. También se incluye la caída de la intensidad de la magnetización frente a la temperatura y la proyección estereográfica (equiareal).

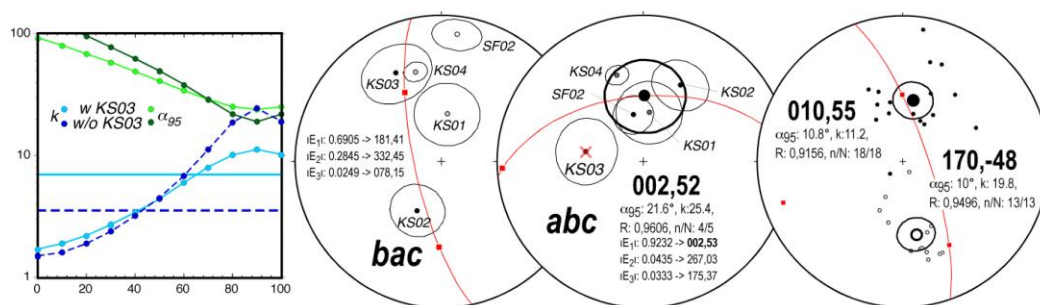


FIGURA 3. Estabilidad de la magnetización en las rocas del Cretácico Superior de las Sierras Exteriores ( $S^a$  de Sto. Domingo). Evolución de los parámetros estadísticos ( $k$  y  $\alpha_{95}$ ) durante el despliegue (de 0%-in situ a 100%-restituído). Proyección estereográfica de las medias de las estaciones estudiadas antes (bac) y después (abc) de la restitución. Todas las estaciones transformadas a la polaridad normal del campo. Derecha: Prueba de inversión, proyección de direcciones individuales de las dos polaridades (excluyendo las direcciones de KS03). El perfil KS03 ha sido considerado con especial cuidado debido a sus direcciones anómalas respecto a la media del sector (WNW).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El carácter primario de la magnetización de las rocas del Cretácico Superior (figura 3) permite construir una secuencia local de polaridades del campo magnético y proponer una correlación con la escala global de polaridad. Sin embargo, la falta de estudios estratigráficos y sedimentológicos específicos y las dificultades de correlación en los perfiles de diferentes posiciones estructurales sólo nos permiten proponer, por el momento, una correlación preliminar. Los perfiles del flanco Sur del anticlinal (figura 4) se han correlacionado entre sí (KS01 y KS03 y 04) teniendo en cuenta la posición con respecto a la base de las facies *Garum*, los perfiles de San Felices (SF02) y del flanco Norte (KS02) tienen una correlación incierta respecto a los anteriores por la divergencia de las facies y la distancia paleogeográfica que los separa.

Por otra parte y aunque los dinosaurios tienen un valor bioestratigráfico limitado en el Mesozoico, en el caso de MPZ 2013/1, pueden ayudar a identificar los magnetocronos. MPZ 2013/1 es un centro vertebral caudal bien conservado. Es más largo anteroposterior que ancho lateromedial con las caras articulares de contorno hexagonal y ligeramente anficélicas. Carece de los procesos transversos y presenta una cresta en las

caras laterales que recorre paralela al eje longitudinal todo el lateral del centro. En vista ventral se observan articulaciones sencillas para los arcos hemales. La forma general de MPZ 2013/1 es distinta de los ornitópodos predominantes en el Cretácico Superior, los hadrosaurios como *Arenysaurus* (Pereda-Suberbiola et al., 2009) del Maastrichtiense superior de los Pirineos. MPZ 2013/1 tiene una forma cercana a las que presenta *Rhabdodon* de algunos yacimientos españoles y franceses. Se trata de un iguanodontio primitivo, cuyos restos fósiles son abundantes en el Campaniense y el Maastrichtiense inferior del suroeste de Europa (Pereda-Suberbiola y Sanz, 1999). Dado lo fragmentario del material se ha preferido identificar a MPZ 2013/1 como perteneciente a un posible *Rhabdodontidae* indet. a la espera de nuevo material que permita clarificar su posición dentro de esta familia.

Teniendo en cuenta esta información, se han relacionado las magnetozonas basales (N1/R1 y N2/R2) con los crones C32n/C31r (entorno al límite Campaniense- Maastrichtiense), y el *Garum* (N3, R3 y N4) con los crones C29r y C29n y C28r respectivamente, considerando los datos existentes en las secciones de Blasi y Arén de la cuenca de Graus-Tremp (Pereda-Suberbiola y Sanz, 2009). Esta

correlación implica un hiato sedimentario entre los cronos C31r y C29r del Maastrichtiense en el flanco Sur del anticlinal (facies más proximales), pero que podría estar representado en el flanco Norte (N3) en continuidad con el *Garum*. Esta interpretación contrasta con el análisis de facies existente en el sector centro-occidental (Alegret y Aurell, 1999) donde las facies más someras y transicionales (facies H) se atribuían al Maastrichtiense. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los perfiles más occidentales

analizados en dicho trabajo se encuentran a 10 km al Este y en flanco Norte (facies más distales).

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten datar de forma provisional el yacimiento de Sto. Domingo como Campaniense superior (C32n,1r) y desvelan la complejidad paleogeográfica del Cretácico Superior más meridional del Pirineo Occidental que debería ser estudiado en futuros trabajos.

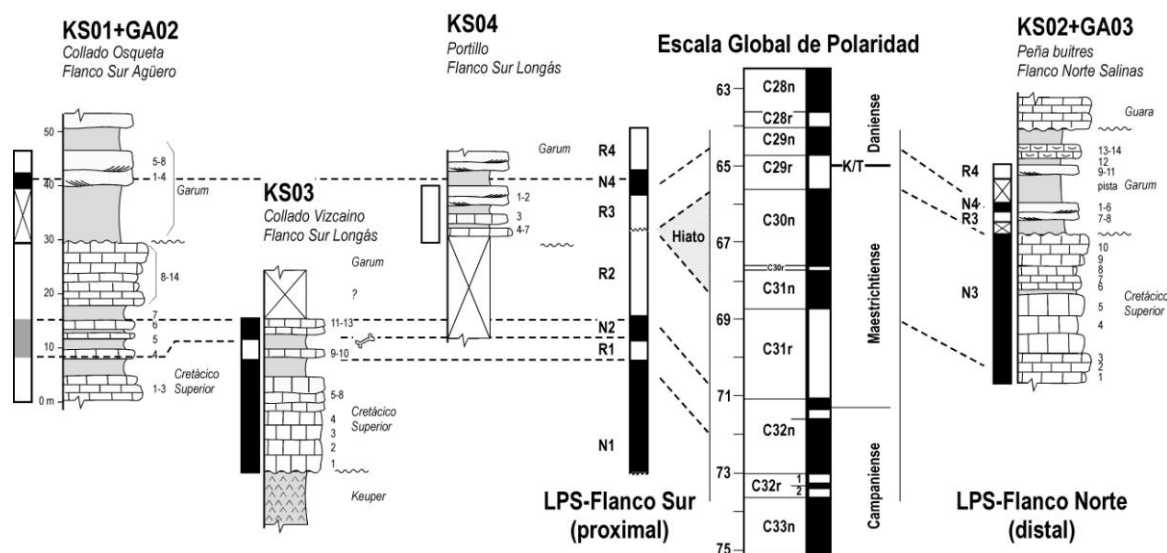


FIGURA 4. Correlación estratigráfica y magnetoestratigráfica tentativa entre los perfiles estudiados y ensayo de columna compuesta.

## AGRADECIMIENTOS.

Proyectos DR3AM- CGL2014-55118, CGL2014-53548 y CGL2013-47521-P del MINECO y Fondos europeos de desarrollo social, además del Gobierno de Aragón (Grupos Consolidados) y Gobierno Vasco/EJ (Grupo IT834-13, X.P.S.).

## REFERENCIAS

- Alegret, L. y Aurell, M. (1999): La sedimentación carbonatada en el Prepirineo Aragonés durante el Cretácico Superior. *Estudios Geol.*, 55: 237-246.
- Arqued, Y., Almunia, A. y Ortiga, M. (1986): Sedimentación carbonatada de plataforma durante el Cretácico Superior en el sector oriental del Prepirineo aragonés. *XI Congreso Español de Sedimentología. GES Barcelona*, Resumen de comunicaciones: 14.
- Dalloni, M. (1910): Etude géologique des Pyrénées de l'Aragon. *Ann. Fac. Sciences Marseille*, 29 : 444 pp.
- Mey, P. H. W. Nagtegaal, P.J.C., Roberti, K.J., Hartevelt, J.J.A. (1968): Lithostratigraphic subdivision of post-hercynian deposits in the south-central Pyrenees (Spain). *Leidse Geologische Mededelingen*, 41: 221-228.

- Millán Garrido, H., 1996 (2006). *Estructura y cinemática del frente de cabalgamiento surpirenaico en las Sierras Exteriores aragonesas*. Colección de Estudios Altoaragoneses, 53. Instituto de Estudios Altoaragoneses, Huesca, 398 pp.
- Pereda-Suberbiola, X. y Sanz, J. L. (1999): The ornithopod dinosaur *Rhabdodon* from the Upper Cretaceous of Laño (Iberian Peninsula). *Estudios del Museo de Ciencias Naturales de Alava*, 14 (Núm. Espec. 1): 257-272.
- Pereda-Suberbiola, X., Canudo, J.I., Cruzado-Caballero, P., Barco, J.L., López-Martínez, N., Oms, O., Ruiz-Omeñaca, J.I. (2009): The last hadrosaurid dinosaurs of Europe: A new lambeosaurine from the Uppermost Cretaceous of Aren (Huesca, Spain). *Comptes Rendus Palevol*, 8: 559-572.
- Pueyo, E. L. et al. (2003): Conical folds and apparent rotations in paleomagnetism (a case study in the Southern Pyrenees). *Tectonophysics*, 362 (1): 345-366.
- 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.
- Teixell, A. et al. (2009): MAGNA 208- Uncastillo. IGME.