

# Registro de excentricidad de alta frecuencia en los sedimentos continentales de la Cuenca de Guadix (Cordillera Bética, España)

*High-frequency eccentricity record in continental sediments of the Guadix Basin (Betic Cordillera, Spain)*

Sila Pla-Pueyo <sup>(1)</sup>, Jesús M. Soria <sup>(2)</sup>, Fernando García-García <sup>(3)</sup>, César Viseras <sup>(4)</sup>, Saturnina Henares <sup>(4)</sup> y José E. Tent-Manclús <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Department of Geography, Royal Holloway, University of London, Egham, Surrey, TW20 0EX, Reino Unido. sila.pla@gmail.com

<sup>(2)</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante, 03080 Alicante, España. jesus.soria@ua.es

<sup>(3)</sup> Departamento de Geología, Campus Las Lagunillas, Universidad de Jaén, 23071 Jaén, España. fegarcia@ujaen.es

<sup>(4)</sup> Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias, Campus Fuentenueva, Universidad de Granada, 18071 Granada, España. viseras@ugr.es, shenares@correo.ugr.es

## ABSTRACT

The Late Pliocene to Quaternary continental sediments of the central sector of the Guadix Basin (southern Spain) show a ca. 100 ka cyclic pattern consisting of alternating alluvial fan and fluvial-lacustrine deposits. During Pliocene and Pleistocene, the Guadix Basin was endoreic and was characterized by the existence of an axial fluvial valley and a marginal border of transverse alluvial fans. Both systems were laterally related, occupying alternatively the axial valley in the central sector of the Guadix Basin. The estimated age for the alternation, ca. 100 ka, falls into the band of Milankovitch high-frequency eccentricity. These phases could be interpreted to be the result of eccentricity maxima (longer and cooler winter periods, higher precipitation value) or of eccentricity minima (drier and colder periods, lower vegetation cover in source areas and higher sediment supply with ephemeral precipitations). The paleomagnetic data are not accurate enough to provide a good correlation with one or the other.

**Key-words:** Climate, cyclicity, continental deposits, eccentricity, Pliocene, Quaternary.

## RESUMEN

Los sedimentos continentales (Plioceno-Cuaternario) que afloran en el sector central de la Cuenca de Guadix (Sur de España) muestran una ciclicidad de 100 ka consistente en la alternancia de depósitos de abanicos aluviales y sedimentos fluvio-lacustres. Durante el Plioceno y el Pleistoceno la Cuenca de Guadix era endorreica, y se caracterizaba por la existencia de un sistema axial fluvial y una orla marginal de abanicos aluviales transversales. En la zona de estudio, estos sistemas estaban relacionados lateralmente, ocupando de forma alterna el valle axial en el sector central de la Cuenca de Guadix. La edad estimada para la alternancia, ca. 100 ka, cae en la banda de excentricidad de alta frecuencia de Milankovitch. Estas fases podrían interpretarse como el resultado de máximos de excentricidad (inviernos más largos y fríos, con mayor volumen de precipitaciones que favorecerían las progradaciones de los abanicos) o de excentricidad mínima (períodos más secos y fríos, con una cubierta vegetal más escasa en las áreas fuente y, por tanto, un mayor aporte de sedimento por precipitaciones muy concentradas en el tiempo al sistema aluvial). Se muestra cómo los datos paleomagnéticos no son lo suficientemente precisos para proporcionar una buena correlación de las fases de progradación con la curva de excentricidad de Laskar et al. (2004), por lo que se pone en duda su precisión a la hora de determinar el significado climático de la ciclicidad.

**Palabras clave:** Clima, ciclicidad, excentricidad, depósitos continentales, Plioceno, Cuaternario.

Geogaceta, 51 (2012), 51-54.  
ISSN:2173-6545

Fecha de recepción: 15 de julio de 2011  
Fecha de revisión: 3 de noviembre de 2011  
Fecha de aceptación: 25 de noviembre de 2011

## Introducción

Los estudios relacionados con la influencia astronómica en los cambios climáticos en contextos fluviales y palustres-lacustres perimediterráneos son escasos. Aunque la mayoría se basan en la identificación de ciclos de precesión y oblicuidad (Milankovitch, 1941), algunos estudios, tales como los planteados por Amorosi *et al.* (2008) o Abels *et al.* (2010) determinan ciclos de excentricidad en sedimentos de llanura de inundación, ambientes palustres y paleosue-

los carbonatados. Nuestro trabajo ilustra un ejemplo singular de ciclos de excentricidad (100 ka) desarrollados en depósitos aluviales y fluviales que forman el relleno de una cuenca endorreica (Cuenca de Guadix, sur de España).

La ciclicidad detectada en el sector central de la Cuenca de Guadix se basa principalmente en la respuesta de los sistemas de drenaje del margen de la cuenca frente a cambios a largo plazo en el régimen de precipitaciones, estos últimos ligados a factores climáticos globales (interferencia de ciclos de

100 ka excentricidad, oblicuidad y precesión). El principal objetivo de nuestro estudio es reflejar cómo la datación paleomagnética, la más utilizada en estudios sobre ciclicidad generada por procesos orbitales, carece de la precisión temporal suficiente para caracterizar la expresión de ciclos climáticos de origen astronómico en ambientes continentales.

## Contexto geológico

La Cuenca de Guadix (Fig. 1) se sitúa en el sector central de la Cordillera Bética, se-

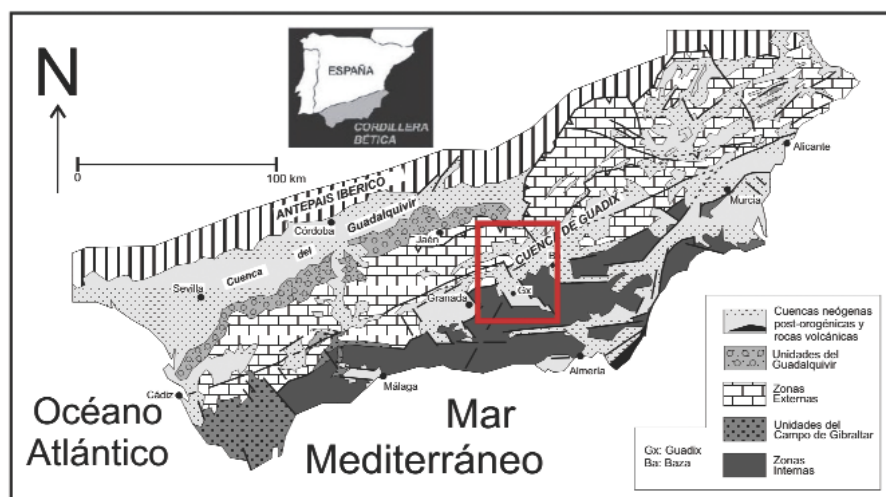


Fig. 1.- Localización geológica de la Cuenca de Guadix.

Fig. 1.- Geological setting of the Guadix Basin.

llando el contacto entre las Zonas Internas de la cordillera (complejos alóctonos metamórficos) y las Zonas Externas (paleomargen sudibérico) (Viseras *et al.*, 2005). La cuenca está actualmente rodeada por varios relieves montañosos. El principal es Sierra Nevada, con una altitud próxima a 3500 m, en la que afloran las rocas metamórficas típicas de las Zonas Internas.

El relleno sedimentario de la Cuenca de Guadix (Tortonense superior-Pleistoceno superior) se divide en seis unidades genéticas, siendo las tres más modernas las correspondientes al relleno continental (Viseras *et al.*, 2005). Durante el depósito de las dos unidades continentales más modernas (unidades V y VI, Plioceno-Pleistoceno), que son las que afloran en el sector estudiado, la cuenca era endorreica y se caracterizaba por una paleogeografía distintiva, un conjunto de abanicos aluviales transversales que recorría la cuenca paralelamente a su eje paleogeográfico. Dicho sistema, denominado Sistema Axial (SA) (Viseras *et al.*, 2006; Pla-Pueyo *et al.*, 2009), se caracterizaba por presentar canales de alta sinuosidad, abundantes sedimentos finos de llanura de inundación y depósitos carbonatados, mayoritariamente palustres-lacustres.

Los abanicos aluviales con su área fuente en Sierra Nevada y Sierra de Baza principalmente (Zonas Internas) formaban el denominado Sistema Transversal Interno (STI) (Viseras y Fernández, 1995). Este sistema estaba formado por una serie de extensos abanicos depositados por una red de canales de baja sinuosidad, coalescentes

entre sí formando un sistema de bajada. Los abanicos del STI tenían un radio aproximado de 10-11 km, más de la mitad de la anchura del valle (que localmente alcanzaba los 15 km), y estaban adosados al margen de la cuenca más activa tectónicamente.

### Secciones estudiadas

Se han escogido cuatro perfiles estratigráficos en los que los sedimentos tanto del SA como del STI están representados de forma óptima para analizar la interacción entre ambos sistemas en el área de estudio (perfiles estratigráficos FPB-4, T-1, FP-1 y FSCC-1) (Fig. 2). Su correlación se ha establecido capa a capa, a partir de observaciones de campo y una cartografía geológica a escala 1:25.000, y se ha confirmado y datado con datos paleomagnéticos combinados con información bioestratigráfica (Pla-Pueyo *et al.*, 2011). En esta correlación se observa cómo aparecen en el SA intercalaciones cíclicas del STI con una extensión lateral que supera los 10 km.

### Comparación sedimentológica entre el SA y el STI en el sector estudiado

Hay varios rasgos sedimentológicos y petrológicos que nos permiten observar diferencias entre los sedimentos de ambos sistemas en la zona estudiada. En primer lugar, el estilo fluvial deducido a partir del análisis de elementos arquitectónicos es de tipo predominantemente *braided* para los abanicos del STI, mientras que el SA pre-

senta fundamentalmente un estilo meandriforme (Pla-Pueyo, 2009). La llanura de inundación en ambos sistemas es rica en lutitas. Los sedimentos rojizos del STI presentan un importante desarrollo de paleosuelos bien drenados. Por el contrario, en el SA se desarrollan paleosuelos pobremente drenados de coloración grisácea, con removilización de óxidos de hierro, que generan un moteado amarillo-rojizo.

En cuanto a los carbonatos que aparecen en cada sistema, en el STI son fundamentalmente calcretas pedogénicas inmaduras (nodulares), mientras que en el SA predominan los carbonatos palustres, con presencia ocasional de tobas (Pla-Pueyo, 2009; Pla-Pueyo *et al.*, 2009). Los rasgos de los carbonatos del STI apuntarían a una mayor aridez relativa que los carbonatos del SA, aunque ambos grupos corresponden a situaciones de climas intermedios, no siendo atribuibles a climas muy áridos ni muy húmedos.

Por tanto, en lo que respecta a diferencias de clima en cada sistema, se puede inferir que el régimen de precipitaciones era diferente, siendo las precipitaciones más regulares en su distribución anual en el caso del SA y más concentradas en cortos períodos de tiempo en el caso del STI. Lo que no es posible saber con los datos sedimentológicos de que se dispone es si la cantidad anual de precipitaciones sería similar en ambos sistemas, aunque con diferencias en la distribución, o si los abanicos del STI progradaban cuando las condiciones se volvían más áridas.

### Relación entre los sedimentos del SA y el STI

Los sedimentos del STI cambian lateral y verticalmente de facies con las facies del SA. Dado que los sedimentos del STI progradaban largas distancias en el valle axial, normalmente es difícil ver en campo los cambios laterales entre ambos sistemas. Sin embargo, la aparente alternancia vertical entre ambos sistemas es fácil de observar, sobre todo en el sector central de la Cuenca de Guadix. Donde predomina el sistema fluvio-lacustre, el valle axial está representado por los sedimentos grisáceos del SA. Por el contrario, los intervalos temporales en que los sedimentos del STI progradan extensivamente en el valle axial, llegando a alcanzar el margen opuesto de la cuenca y reduciendo la extensión lateral del sistema flu-

vial, incluso bloqueándolo en ocasiones, están representados por depósitos rojizos, correspondientes a las facies medio-distales de los abanicos aluviales del STI.

Tres de los cuatro perfiles estratigráficos utilizados en el presente trabajo para determinar la ciclicidad (FPB-4, FP-1 y FSCC-1) (Fig. 2) presentan yacimientos de vertebrados con información bioestratigráfica muy útil (Viseras *et al.*, 2006), clave para calibrar los datos paleomagnéticos obtenidos para los perfiles FP-1 y FSCC-1 (Pla-Pueyo *et al.*, 2011). La escala paleomagnética utilizada para la datación de dichos perfiles ha sido la ATNTS2004 (Astronomically tuned Global Polarity Time Scale, Gradstein *et al.*, 2004). Así, la correlación de los perfiles muestreados ha permitido extrapolar un conjunto de superficies isócronas (Pla-Pueyo *et al.*, 2011) que han ayudado a datar el comportamiento cíclico de la progradación de los abanicos del STI sobre los sedimentos del SA (Fig. 2). Dichas isócronas permiten interpolar un patrón cíclico de repetición de ca. 100 ka para las fases progradantes del STI, una ciclicidad que cae en la banda de Milankovitch de excentricidad de alta frecuencia. Por tanto, se propone una influencia astronómica para los ciclos STI-SA que aparecen en las unidades genéticas V y VI del sector central de la Cuenca de Guadix

### Control astronómico de las progradaciones del STI

La correlación lito-, bio- y magnetoestratigráfica de los perfiles levantados en el sector central de la Cuenca de Guadix representa el relleno de la misma desde hace 3.8 Ma (Pla-Pueyo *et al.*, 2011) y permite identificar al menos dieciséis fases de progradación (Ver Fig. 2) de los abanicos del STI que se introducen transversalmente en el valle axial. Usando como referencia el esquema de correlación, se ha podido datar cada una de estas progradaciones, lo que ha posibilitado a su vez una correlación con las curvas de insolación de Laskar *et al.* (2004). En una primera aproximación, esta correlación mostraba la relación de las fases de progradación con los máximos en los ciclos de excentricidad de 100 ka (0.03 – 0.06). A partir de aquí surgen dudas sobre la fiabilidad de la correlación, al plantearse diversas interpretaciones climáticas de la sedimentación en el STI durante las progradaciones.

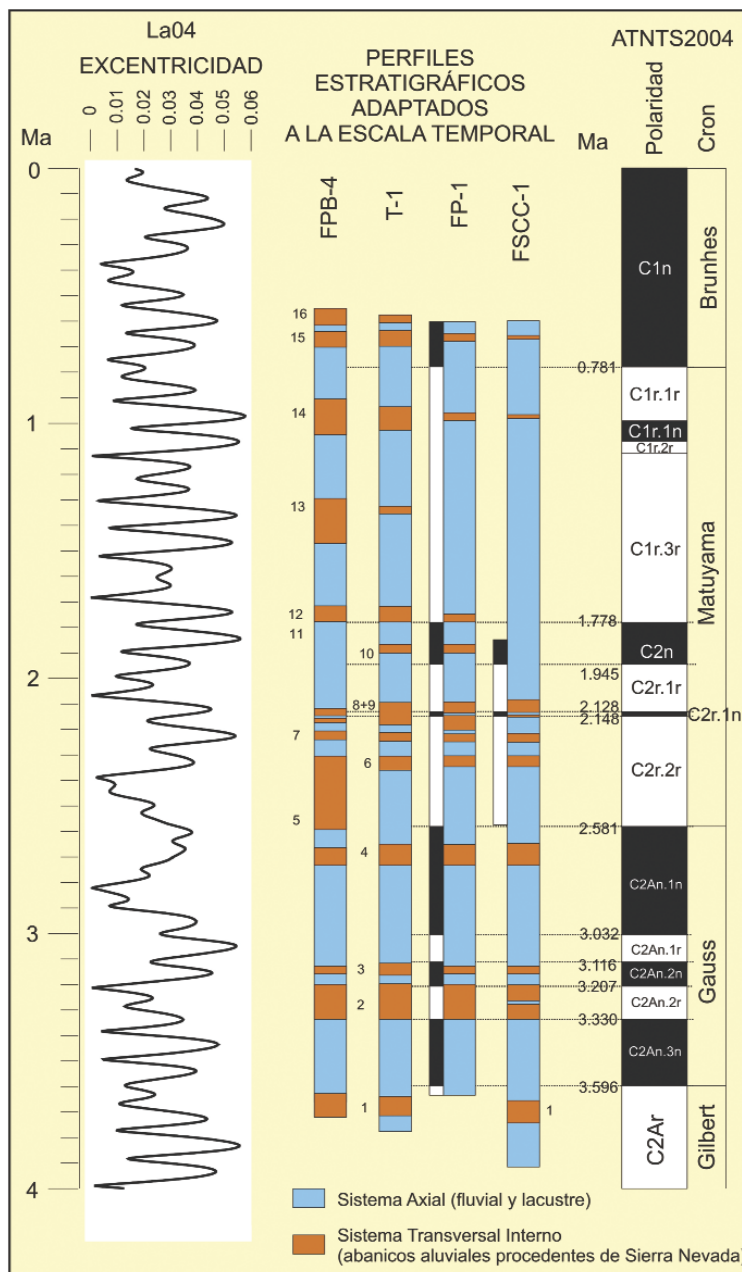


Fig. 2.- Correlación de los perfiles con la ATNTS2004 (Gradstein *et al.*, 2004) y la curva de excentricidad de Laskar *et al.* (2004)

Fig. 2.- Correlation of the stratigraphic profiles with the ATNTS 2004 (Gradstein *et al.*, 2004) and the Laskar *et al.* (2004) eccentricity curve.

### Implicaciones paleoclimáticas de la ciclicidad

Los cambios de excentricidad de la órbita de la Tierra cada 100 ka condicionan la cantidad de energía solar recibida por la Tierra en el perihelio y afelio; cuando la excentricidad es mínima, el perihelio recibe un 6% más de radiación que el afelio, mientras que, en excentricidad máxima, esta diferencia alcanza el 20-30%. En segundo lugar, cuando la excentricidad es extrema, las estaciones que ocurren en el afelio son sustancial-

mente más largas que las del perihelio. Así, la excentricidad condicionaría, para valores máximos, los inviernos más fríos y de mayor duración cuando la Tierra está en el afelio.

Actualmente, en Sierra Nevada, de donde derivan los principales drenajes de la Cuenca de Guadix, las máximas precipitaciones son de origen orográfico y tienen lugar durante los meses fríos del invierno, cuando esta cadena montañosa se ve afectada por borrascas de origen atlántico. Estas condiciones corresponden a la configuración orbital actual de excentricidad mínima,

oblicuidad intermedia y precesión máxima. Si asumimos que Sierra Nevada fue durante el Plioceno superior y Cuaternario una cadena montañosa de elevación parecida a la actualidad (cerca de 3.500 m), toda vez que ya quedó configurada mucho antes (Mioceno superior, Sanz de Galdeano y Alfaro, 2004), podríamos inferir que el mecanismo básico de precipitaciones orográficas se mantuvo en el pasado reciente. Sin embargo, durante los periodos extremos fríos de excentricidad y oblicuidad máximas y de precesión mínima, que se repiten cada 100 ka, las precipitaciones, según esta aproximación actualista, deberían ser más acusadas y de mayor duración en comparación con la actualidad. Esto favorecería la entrada de aportes procedentes de Sierra Nevada hacia el interior de la cuenca, alcanzando su máxima extensión (progradación) los abanicos aluviales que forman el STI.

Teniendo en cuenta la incertidumbre que nos introduce en la correlación el tener que asumir tasas de sedimentación constante dentro de cada cron, podría ocurrir que la ciclicidad de 100 ka que hemos detectado en las progradaciones del STI haya que correlacionarla con los mínimos de excentricidad.

En la mayoría de los artículos relacionados con cambio climático en el Cuaternario (e.g. Rose, 2009) se atribuyen a los máximos de excentricidad condiciones climáticas templadas y húmedas, típicas de un período interglaciar, mientras que en los momentos de excentricidad mínima sería esperable un clima frío y seco, típico de períodos glaciares, que provocaría una escasez de vegetación en las áreas fuente y facilitaría la erosión. Dado que Sierra Nevada estuvo afectada por glaciario hasta el Holoceno (Gómez-Ortiz, 2005), es razonable pensar que para la Cuenca de Guadix se pueden hacer inferencias similares. Si correlacionamos las 16 fases de progradación con mínimos de excentricidad, las descargas puntuales relacionadas con deshielo y precipitaciones intensas en cortos períodos de tiempo darían lugar a las progradaciones de los abanicos del STI. Durante los momentos de máxima excentricidad, en los que las precipitaciones tendrían un carácter más regular y serían más abundantes, la vegetación colonizaría el

sustrato, disminuyendo la erosión en el área fuente, generando un mayor desarrollo de la llanura de inundación del SA. Una temperatura más benigna y un aporte de agua más continuo favorecerían la presencia de grandes vertebrados, como los encontrados en los yacimientos paleontológicos en facies del SA, y la formación de carbonatos tobáceos, como los descritos en algunos puntos en relación con la llanura de inundación del sistema fluvial.

## Conclusiones del estudio

1) Se han diferenciado dieciséis fases de progradación de los abanicos aluviales del Sistema Transversal Interno en el sector central de la cuenca de Guadix

2) Dichas facies de progradación ocurrieron cada 100 ka el valle axial, dentro del rango temporal de la excentricidad de alta frecuencia de Milankovitch.

3) Dada la falta de precisión de la datación paleomagnética para el rango de la ciclicidad sobre la que se está trabajando, existen dos posibles correlaciones de las progradaciones con la curva de excentricidad de Laskar *et al.* (2004):

a) con los máximos de excentricidad, para lo que habría que aplicar una aproximación actualista e invocar precipitaciones de origen orogénico como la causa de las progradaciones. Los abanicos progradarían en condiciones de igual o mayor humedad que las imperantes cuando agrada el SA.

b) con los mínimos de excentricidad, de modo que las fases de progradación se producirían durante momentos más áridos y fríos, posiblemente en relación con los picos de descarga provocados por precipitaciones puntuales y por el deshielo de glaciares en Sierra Nevada.

4) La sedimentología nos muestra como una correlación basada en datos paleomagnéticos y que a primera vista era clara (progradaciones del STI correlacionadas con momentos de máxima excentricidad) puede no ser fiable cuando damos un significado climático a las facies. Hasta que no se disponga de un sistema de datación más adecuado y de datos paleoambientales más precisos, como, por ejemplo, datos de isótopos

estables de los carbonatos, resulta muy difícil en el presente caso decantarse por un modelo o por el otro.

## Agradecimientos

Agradecemos al Dr. José Pedro Calvo y a un revisor anónimo sus comentarios y sugerencias para la mejora del manuscrito. El presente estudio es parte de los proyectos de investigación AHOB-3 y CGL2009-07830/BTE y del Grupo de Investigación RNM-369JA.

## Referencias

- Abels, H.A., Abdul Aziz, H., Krijgsman, W., Smeets, S.J.B. y Hilgen, F.J. (2010). *Earth and Planetary Science Letters*, 289, 220-231.
- Amorosi, A., Pavesi, M., Ricci Lucchi, M., Sarti, G. y Piccin, A. (2008). *Sedimentary Geology*, 209, 58-68.
- Gradstein, F.M., Ogg, J.G. y Smith, A.G. (Eds.) (2004). *A Geological Time Scale 2004*. Cambridge University Press, 589 p.
- Gómez-Ortiz, A. (2005). *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, 59, 63-86.
- Laskar, J., Robutel, P., Joutel, F., Gastineau, M., Correia, A. C. M. y Levrard, B. (2004). *Astronomy & Astrophysics*, 428, 261-285.
- Milankovitch, M. (1941). *Royal Serbian Academy Special Publications*, 133, 1-633.
- Pla-Pueyo, S. (2009). *Contexto estratigráfico y sedimentario de los yacimientos de grandes mamíferos del sector central de la Cuenca de Guadix (Cordillera Bética)*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 287 p.
- Pla-Pueyo, S., Gierlowski-Kordesch, E.H., Viseras, C. y Soria, J.M. (2009). *Sedimentary Geology*, 219, 97-114.
- Pla-Pueyo, S., Viseras, C., Soria, J.M., Tent-Manclús, J.E. y Arribas, A. (2011). *Quaternary International*, 243, 16-32.
- Sanz de Galdeano, C. y Alfaro, P. (2004). *Geomorphology*, 63, 178-190.
- Viseras, C. y Fernández, J. (1995). *Geologie en Mijnbouw*, 74, 21-33.
- Viseras, C., Soria, J.M., Fernández, J. y García García, F. (2005). *Geophysical Research Abstracts*, 7, 11123-11127.
- Viseras, C., Soria, J.M., Durán, J.J., Pla-Pueyo, S., Garrido, G., García-García, F. y Arribas, A. (2006). *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, 242, 139-168.
- Rose, J. (2009). *Proceedings of the Geologists' Association*, 120, 3-33.