

EL REGISTRO SEDIMENTARIO Y FAUNÍSTICO DE LAS CUENCAS DE CALATAYUD-DAROCA Y TERUEL. EVOLUCIÓN PALEOAMBIENTAL Y PALEOCLIMÁTICA DURANTE EL NEÓGENO

L. Alcalá¹, A.M. Alonso-Zarza², M.A. Alvarez Sierra³, B. Azanza⁴, J. P. Calvo², J.C. Cañaveras⁵, J.A. van Dam⁶, M. Garcés⁷, W. Krijgsman⁶, A.J. van der Meulen⁶, J. Morales¹, P. Peláez-Campomanes¹, A. Pérez González⁸, S. Sánchez Moral¹, R. Sancho² y E. Sanz Rubio⁹

¹Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, c/ José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid, España

²Dpto de Petrología y Geoquímica, Fac. CC. Geológicas, Univ. Complutense, 28040 Madrid, España

³Dpto de Paleontología, Fac. CC. Geológicas, Univ. Complutense, 28040 Madrid, España

⁴Dpto de Ciencias de la Tierra, Fac. Ciencias, Univ. de Zaragoza, Pl. San Francisco s/n, 50009 Zaragoza

⁵Dpto de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente, Univ. de Alicante, Apdo 99, 03080 Alicante, España

⁶Faculty of Earth Sciences, Utrecht University, Budapestlaan 4, NL-3584 CD Utrecht, Netherlands

⁷Dpto de Geodinámica i Geofísica, Facultat de Geologia, Univ. de Barcelona, c/ Martí i Franqués s/n, 08028 Barcelona

⁸Dpto de Geodinámica, Fac. CC. Geológicas, Univ. Complutense, 28040 Madrid, España

⁹Centro de Astrobiología, INTA-CSIC, C^a de Ajalvir km 4, 28850 Torrejón de Ardoz, Madrid, España

Resumen: Las cuencas de Calatayud-Daroca y Teruel contienen un registro sedimentario y faunístico muy completo del Neógeno continental español. En ellas están definidas las secciones tipo del Ramblense, Aragoniense, Turoliense y Alfambriense. A su vez, el Vallesiense se encuentra muy bien representado en la parte norte de la Cuenca de Teruel, tanto litoestratigráficamente como por la amplia sucesión de faunas de vertebrados que contiene. En este trabajo se presenta un resumen y puesta al día de la información estratigráfica y sedimentológica disponible sobre las formaciones neógenas de ambas cuencas, incluyendo además datos recientes sobre el límite Aragoniense-Vallesiense en el área de Daroca-Nombrevilla y sobre el registro sedimentario de edad Plioceno en la parte más septentrional de la región de Teruel-Alfambra. Se presenta asimismo un cuadro sintético de las columnas magnetoestratigráficas elaboradas en los últimos años. Con carácter preliminar, se muestran las curvas de evolución paleoclimática (humedad/temperatura) deducibles de las asociaciones de micromamíferos presentes en una densa sucesión de yacimientos que abarcan todo el Mioceno. Las diferencias en los resultados obtenidos sobre la evolución paleoclimática de ambas cuencas son posiblemente debidas a la distinta metodología utilizada en el análisis de las asociaciones faunísticas. Por otra parte, se discuten las faltas de ajuste detectadas, al menos para algunos intervalos temporales, entre los resultados deducibles de este tipo de interpretación paleoclimática y los que se derivan del análisis sedimentológico de los depósitos.

Palabras clave: Cuencas continentales, sedimentología, faunas de mamíferos, evolución paleoclimática, Neógeno, NE de España

Abstract: The Calatayud-Daroca and Teruel basins (NE Spain) show a very complete sedimentary and faunal record of the Spanish continental Neogene. The stratotypes for the Ramblian, Aragonian, Turolian and Alfambrian stages have been defined in these basins. Moreover, the Vallesian is well recorded especially in the northern Teruel Basin. This paper gives a state-of-the-art summary of the available information generated in the latest years by detailed sedimentological, biostratigraphical and magnetostratigraphical studies of the Neogene deposits of the basins. Recent results concerning the Aragonian-Vallesian boundary in the Daroca-Nombrevilla area are presented. A general integrated scheme of the magnetostratigraphic logs obtained from a large number of stratigraphic sections throughout the region is also included. Preliminary palaeoclimatic evolutionary curves (humidity/temperature) are proposed for the Miocene stratigraphic record of the basins. The curves have been inferred from detailed analysis of the micromammal associations found in an extremely dense succession of mammal localities. Differences in the palaeoclimatic curves proposed for Calatayud-Daroca and Teruel may be explained by the use of different methodologies. Discrepancies between sedimentological and faunal based interpretations of the palaeoclimatic evolution of some intervals of the Miocene are discussed.

Key words: Continental basins, sedimentology, mammal faunas, paleoclimatic evolution, Neogene, NE Spain

Alcalá, L., Alonso-Zarza, A.M., Alvarez Sierra, M.A., Azanza, B., Calvo, J.P., Cañaveras, J.P., Dam, J.A. van, Garcés, M., Krijgsman, K., Meulen, A.J. van der, Morales, J., Peláez-Campomanes, P., Pérez González, A., Sánchez Moral, S., Sancho, R. y Sanz Rubio, E. (2000): El registro sedimentario y faunístico de las cuencas de Calatayud-Daroca y Teruel. *Evolución paleoambiental y paleoclimática durante el Neógeno*. *Rev. Soc. Geol. España*, 13 (2): 323-343

Las cuencas terciarias de la Península Ibérica ofrecen excelentes ejemplos de continuidad del registro estratigráfico mioceno a escala europea (Friend y Dabrio, 1996). Son varios los dominios, en particular las tres grandes cuencas terciarias interiores (Ebro, Duero y Tajo), donde el registro sedimentario terciario en facies continentales aparece representado de forma muy completa (Riba y Pérez González, 1983; Anadón y Cabrera, 1989; Friend y Dabrio, 1996; Busson y Schreiber, 1997). La estratigrafía del Neógeno continental, tanto en estas cuencas como en otras de extensión más reducida dentro de la Península Ibérica, ha sido objeto de numerosos estudios de carácter estratigráfico, sedimentológico y paleontológico que han permitido la obtención de síntesis bastante ajustadas, utilizables como referencia para análisis posteriores (López-Martínez *et al.*, 1987; Calvo *et al.*, 1993). Dentro de este contexto, la calidad del registro sedimentario y faunístico de las cuencas de Calatayud-Daroca y Teruel aporta una información sobresaliente que incrementa la resolución bioestratigráfica disponible y permite refinar las curvas de evolución paleoclimática y paleoambiental en un amplio sector de la Península.

En los últimos 20 años, son numerosos los trabajos realizados en ambas cuencas. Por su carácter sintético y de puesta al día de múltiples aportaciones previas, destacaremos los de Sanz Rubio (1999) y Alonso-Zarza y Calvo (2000) relativos a la litoestratigrafía y sedimentología de la Cuenca de Calatayud-Daroca y parte norte de la Cuenca de Teruel, respectivamente. El estudio de las faunas de macro y microvertebrados presentes en el registro neógeno de ambas cuencas se encuentra actualizado en Alcalá (1994) y Dam (1997) (ver referencias a trabajos anteriores en estas publicaciones), en lo que se refiere a la parte norte de la Cuenca de Teruel (región de Teruel-Alfambra), y en Daams *et al.* (1998) y Daams *et al.* (1999a) para la Cuenca de Calatayud-Daroca. La excepcional densidad de faunas de micromamíferos, unida a la buena exposición y continuidad estratigráfica de las secciones utilizadas, ha servido de base para la definición de cuatro estratotipos de pisos dentro del Terciario continental. Así, Daams *et al.* (1987) definieron la sección tipo del Ramblense (parte del Mioceno inferior) cerca de la localidad de Calamocha (prov. de Teruel). La sección tipo del Aragoniense, que cubre parte del Mioceno inferior y la totalidad del Mioceno medio, fue establecida por Daams *et al.* (1977) en las proximidades de Villafeliche (prov. de Zaragoza), y ha

sido posteriormente complementada en sus aspectos magnetoestratigráficos y sedimentológicos (Daams *et al.*, 1999a, b). Por su parte, la sección tipo del Turolense (parte del Mioceno superior) fue propuesta por Crusafont (1965) y sus características están descritas en Aguirre *et al.* (1975), entre otros. Dicha sección se encuentra en las inmediaciones de la ciudad de Teruel. Por último, Moissenet *et al.* (1990) han propuesto un nuevo piso, el Alfambriense, para el Plioceno continental, a partir de varias secciones situadas en la parte más septentrional de la Cuenca de Teruel (área de Orrios-Villalba Alta) así como en el área de Celadas-La Gloria. La magnetoestratigrafía y paleontología de vertebrados del Plioceno en esta última área ha sido descrita en detalle por Opdyke *et al.* (1997).

El análisis de las sucesiones de faunas de vertebrados, en particular de las comunidades de micromamífe-

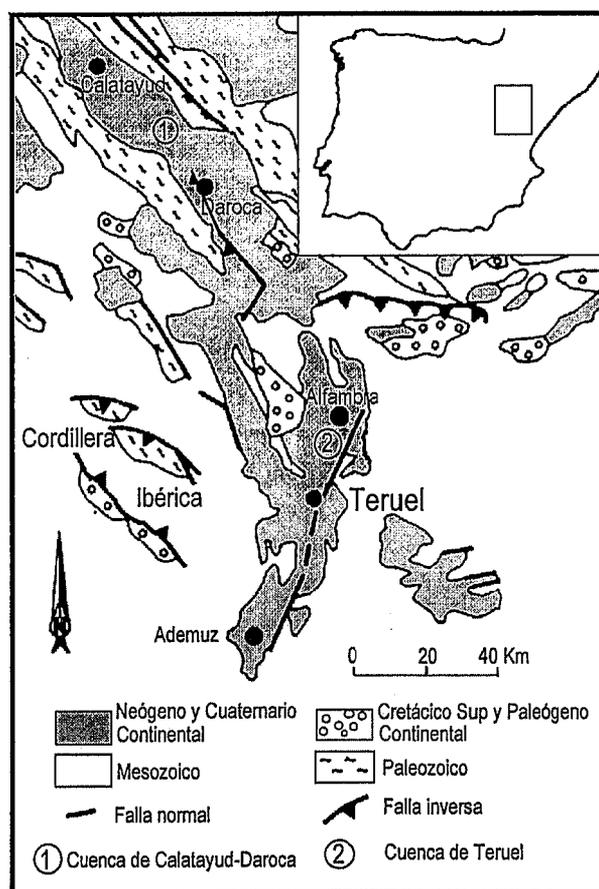


Figura 1.- Situación geográfica y contexto estructural de las cuencas de Calatayud-Daroca y Teruel.

ros, presentes en los múltiples yacimientos de ambas cuencas ha conducido a la elaboración de curvas climáticas que permiten esbozar la reconstrucción del clima y su evolución a lo largo de amplios periodos del Neógeno en la región centro-nororiental de la península. Dicha evolución ha sido analizada en detalle para el Aragoniense a partir de las sucesiones faunísticas en su área tipo (Meulen y Daams, 1992; Daams *et al.*, 1999a) y para gran parte tanto del Vallesiense como del Turoliense en la zona norte de la Cuenca de Teruel (Dam, 1997; Dam y Weltje, 1999). En ambos casos, la metodología de trabajo se ha basado en el muestreo de la sucesión más densa posible de yacimientos de mamíferos. No obstante, existen lagunas de información, al menos con el detalle de los trabajos mencionados anteriormente, en lo que se refiere al Ramblense, tránsito del Aragoniense superior-Vallesiense inferior, parte más alta del Turoliense superior y al Plioceno en su conjunto.

En este trabajo se lleva a cabo una síntesis del estado de conocimiento actual del registro sedimentario y faunístico de las dos áreas señaladas, exponiéndose los resultados más recientes sobre la transición Aragoniense superior-Vallesiense inferior obtenidos a partir de secciones muy bien expuestas en la zona de Daroca-Nombrevilla, así como los relativos al Plioceno en la parte más septentrional de la región de Teruel-Alfambra. Con carácter preliminar se presentan algunos datos que complementan la información existente sobre el Ramblense en su área tipo. Todo ello permite avanzar un esquema de la evolución paleoclimática y paleoambiental para la región centro-nororiental de la Península Ibérica durante el Neógeno, esquema que debe ser complementado en el futuro con la revisión de la taxonomía de varios grupos de micromamíferos y la unificación de las metodologías de análisis utilizadas.

Contexto geológico y estratigrafía general de las cuencas

Las cuencas de Calatayud-Daroca y Teruel (Fig. 1) son dos de las cuencas del noreste de la Península Ibérica cuya formación estuvo controlada por los movimientos distensivos que afectaron esta región durante el Neógeno (Guimerà, 1996). El régimen distensivo fue resultado del cambio en la zona de convergencia entre Africa y Eurasia desde los Pirineos (a partir del Eoceno medio) a las Béticas (a partir del Oligoceno medio) (Srivastava *et al.*, 1990), al mismo tiempo que comenzó a abrirse la cuenca mediterránea oriental (Biju Duval y Montadert, 1977). El límite de la zona extensional noreste de la Península está definido en su zona norte por una serie de fallas NE-SW, próximas a la zona costera, mientras que hacia el sur queda peor definido, alrededor de las fallas que limitan el graben de Teruel más hacia el oeste (Simón, 1984; Guimerà, 1996).

La Cuenca de Calatayud-Daroca es una depresión relativamente estrecha, entre 10 y 26 km de ancho por

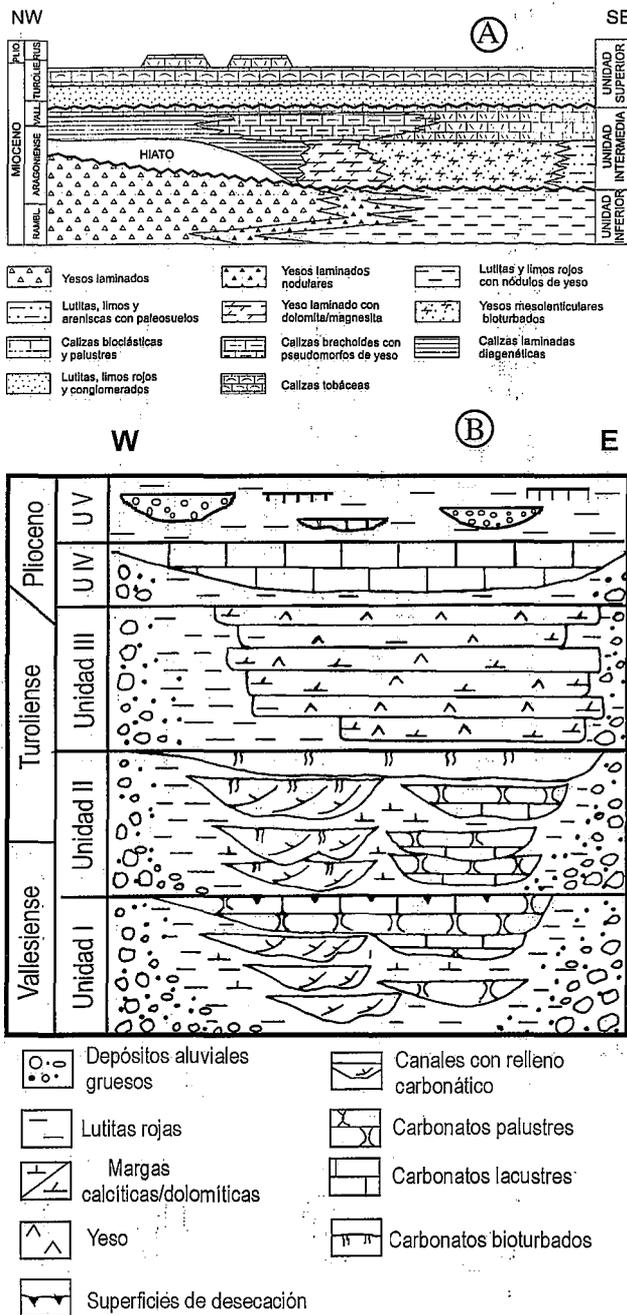


Figura 2.- A) Esquema litoestratigráfico del relleno sedimentario neógeno de la zona central de la Cuenca de Calatayud-Daroca (modificado de Sanz-Rubio, 1999). B) Esquema litoestratigráfico del relleno sedimentario neógeno de la zona norte de la Cuenca de Teruel (modificado de Alonso-Zarza y Calvo, 2000).

125 km de largo, que se extiende según una dirección NW-SE y está limitada por relieves paleozoicos y mesozoicos. La cuenca está rellena por una sucesión de depósitos continentales de edad comprendida entre el Paleógeno y el Plioceno inferior. El espesor de los depósitos terciarios no se ha podido determinar con precisión, aunque los sondeos realizados en el centro de la depresión (Marín, 1932) cortaron hasta 1170 m de evaporitas, carbonatos, arcillas y depósitos clásticos basales. En superficie, las series estratigráficas más continuas presentan un espesor máximo de 500 m. La estructura tectónica de la cuenca es compleja, presentando

variaciones a lo largo de la depresión (Julivert, 1954; Ferreiro y Ruiz, 1991; Anadón y Moissenet, 1996). Así, en algunas zonas del norte de la cuenca, como es el caso del área de Calatayud, la estructura tiene forma de *graben*, mientras que, más al sur, el margen sudoeste está limitado por fallas *strike-slip*, como es el caso de la Falla del Jiloca (Julivert, 1954), acompañadas de cabalgamientos de bajo ángulo del basamento sobre los depósitos aluviales del Mioceno inferior y medio (Colomer y Santanach, 1988). El registro sedimentario de la Cuenca de Calatayud-Daroca está constituido por tres unidades litoestratigráficas: Inferior, Intermedia y Superior (Fig. 2A) (Sanz Rubio, 1999), que están limitadas por discontinuidades sedimentarias de extensión cuencal. La Unidad Inferior presenta en afloramiento un espesor de entre 100 y 150 m y su edad está comprendida entre el Oligoceno (?) y el Aragoniense medio. En las áreas marginales de la cuenca, la unidad está formada por depósitos detríticos gruesos que gradan a términos lutítico-limosos con nódulos de yeso y a facies fundamentalmente anhidríticas, halíticas y glauberíticas reemplazadas actualmente en superficie por yeso secundario laminado en las zonas más centrales (Sanz Rubio, 1999). La Unidad Intermedia, cuya edad abarca gran parte del Aragoniense y del Vallesiense, presenta potencias que varían entre 30 y 120 m. La distribución de los depósitos muestra también una disposición centrípeta, reconociéndose que los depósitos aluviales marginales pasan a carbonatos, tanto dolomíticos como calcíticos, y a yeso laminado primario alternando con depósitos magnésicos hacia los sectores más centrales (Sanz Rubio, 1999). Por último, la Unidad Superior aparece constituida por tres tramos: un tramo basal formado por depósitos detríticos, uno intermedio constituido por calizas tobáceas, y uno superior de facies carbonáticas laminadas lacustres. El espesor total de esta unidad, cuya edad es en su mayor parte Turoliense, puede superar los 100 m.

La Cuenca de Teruel, denominada comúnmente Fosa de Teruel, constituye una depresión orientada según una dirección NNE-SSW, que ocupa un área de unos 100 km de longitud por 15 km de anchura. La sucesión neógena que rellena la cuenca presenta un espesor máximo de 500 m (Moissenet, 1983; Anadón y Moissenet, 1996). La cuenca es un *semi-graben* limitado por varias fallas normales de dirección NNE-SSW que muestran una disposición *en échelon* y que se desarrollan principalmente en el margen oriental de la cuenca. Los bloques subsidentes (*hanging-wall*) son los situados en el flanco oeste de las fallas, mientras que los bloques más estables (*foot-wall*) son los situados al este (Anadón y Moissenet, 1996).

En el presente trabajo se analiza el registro sedimentario neógeno presente en el sector norte de la Cuenca de Teruel, es decir, en el área comprendida entre la ciudad de Teruel y Villalba Alta, siendo en esta zona donde se localiza la mayor parte de los yacimientos de macro y microvertebrados encontrados en la cuenca y por tanto donde el registro faunístico es más completo. En este

sector septentrional de la cuenca, los depósitos neógenos se sitúan discordantes sobre formaciones mesozoicas y paleógenas. Los sedimentos miocenos más antiguos han sido datados como Aragoniense inferior (yacimiento de Montalvos, al este de la localidad de Cuevas Labradas; Dam, 1997), aunque la mayor parte de la sucesión neógena que aflora en la región comprendida entre Teruel y Villalba Alta corresponde a sedimentos cuya edad abarca desde el Vallesiense inferior al Plioceno superior. El registro sedimentario de esta edad puede dividirse en cinco unidades (Fig. 2B), cuyos límites están marcados por la progradación de depósitos aluviales sobre los depósitos lacustres infrayacentes (Alonso-Zarza y Calvo, 2000). Las dos unidades inferiores (Unidades I y II), cuyo espesor conjunto es de unos 80 m, están constituidas por depósitos detríticos gruesos que pasan hacia el centro de la cuenca a depósitos lutíticos con paleosuelos y a calizas lacustres, palustres y fluvio-lacustres. En la Unidad III se reconocen, además de depósitos similares a los observados en las unidades infrayacentes, potentes depósitos de margas dolomíticas y yesos bioturbados. Estos depósitos afloran en el área de Tortajada, donde la unidad presenta un espesor de 150 m. La Unidad IV está formada por depósitos detríticos rojos que intercalan, sobre todo hacia techo, niveles lacustres carbonatados. Por último, la Unidad V es una unidad en la que alternan gravas, lutitas rojas y niveles de paleosuelos y depósitos de charcas carbonatadas. Su potencia es, al igual que la de la Unidad IV, de unos 50 m.

La comparación de los registros sedimentarios reconocidos en ambas cuencas permite una correlación bastante bien definida de las unidades neógenas descritas anteriormente. El registro neógeno más antiguo, correspondiente al Ramblense y Aragoniense, es prácticamente inexistente en la Cuenca de Teruel, mientras que está muy bien representado en la Cuenca de Calatayud-Daroca, donde queda incluido en la Unidad Inferior de dicha cuenca (Fig. 2A) (Sanz Rubio, 1999). La Unidad I de la Cuenca de Teruel (Fig. 2B) tiene su equivalente temporal en la Unidad Intermedia de la Cuenca de Calatayud-Daroca, siendo la Unidad Superior de esta cuenca correlacionable con las Unidades II y III de Teruel. El Plioceno aparece muy bien definido en la Cuenca de Teruel, donde está formado por las Unidades IV y V (Fig. 2B), mientras que en Calatayud-Daroca sólo se ha reconocido una unidad de edad Plioceno cuya presencia está restringida a la parte meridional de la cuenca (Olivé *et al.*, 1983).

Descripción de las secciones más representativas y de su registro faunístico

Ramblense

Bioestratigrafía y eventos faunísticos mayores

Daams *et al.* (1987) definieron el Ramblense como nuevo piso continental en el área de Calamocha (provincia de Teruel), proponiendo su división en dos zonas, Z y A (Fig. 3) teniendo en cuenta la distribución y

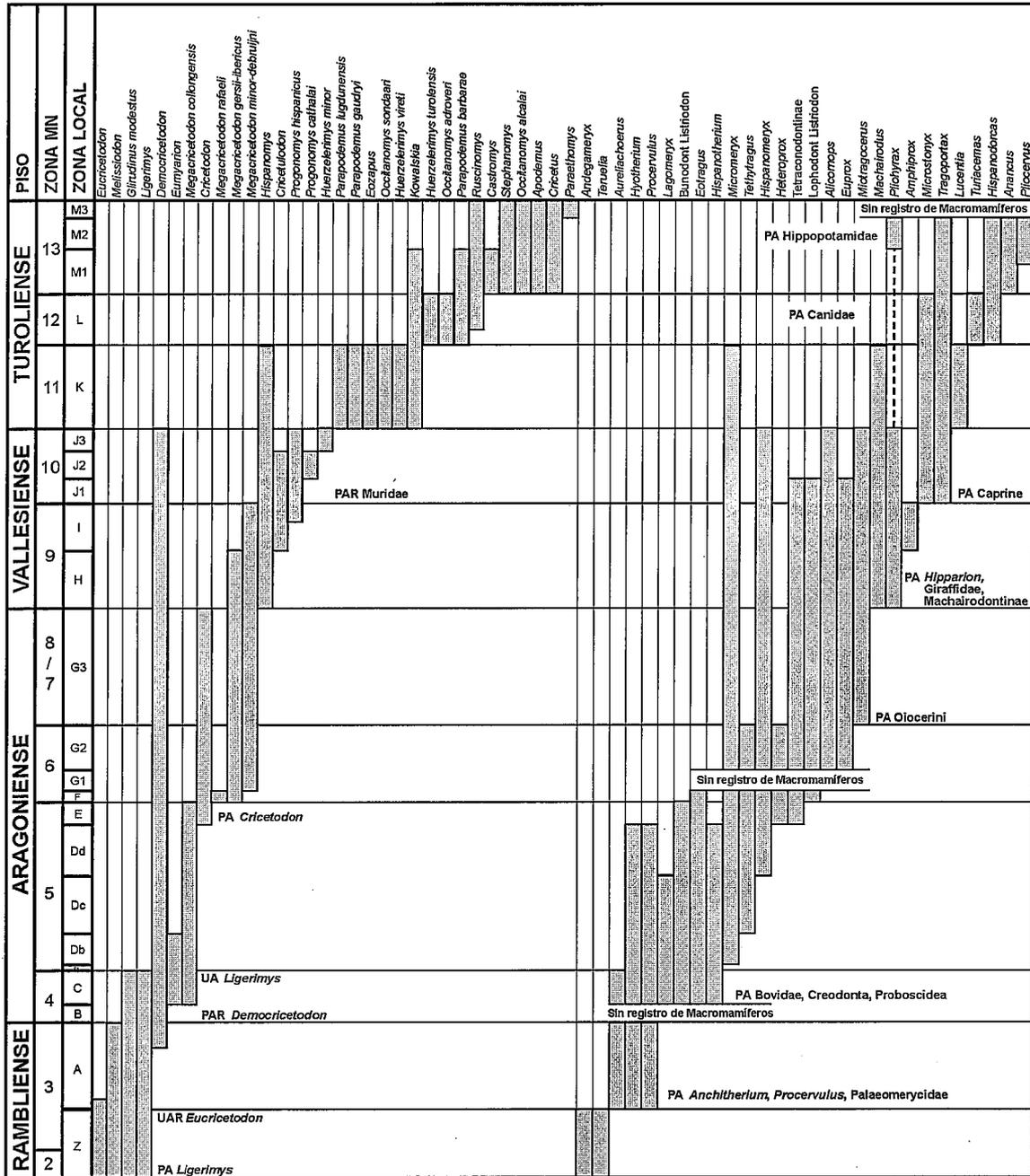


Figura 3.- Distribución estratigráfica de los macro y micromamíferos del Mioceno de la Península Ibérica más apropiados para correlaciones a grandes distancias. PA: registro más antiguo; UA: registro más reciente; PAR: registro regular más antiguo; UAR: registro regular más reciente.

abundancia de ciertos taxones de roedores. Los límites del Ramblense vienen marcados por la primera aparición del género *Ligerimys* (Eomyidae), como límite inferior, y la primera aparición regular del género *Democricetodon* (Cricetidae), como superior.

Entre los principales eventos faunísticos ocurridos durante el Ramblense puede citarse el establecimiento de una comunidad de roedores compuesta principalmente de glíridos, generalmente endémicos de la Península Ibérica, de la subfamilia Myomiminae (*Peridromys*, *Pseudodryomys* y (*Pre*)*Armantomys*) y eomyidos del género *Ligerimys*. Este núcleo faunístico es importante no sólo durante todo el Ramblense sino que se extiende hasta el Aragoniense inferior. Destaca la ausencia de cricétidos en la mayor parte de la zona A; úni-

camente se ha registrado, aunque con una frecuencia muy baja, algunos restos de *Eucricetodon* (Eucricetodontinae) en el yacimiento de La Dehesa (área de Calamocha) y *Democricetodon* (Cricetini) en San Roque 4 (área de Villafeliche). Es decir, en la zona A se produce el reemplazamiento de cricétidos, sin que en ningún momento lleguen a convivir.

Otro evento importante es la fuerte renovación sufrida por las faunas de macromamíferos durante el Ramblense, hecho que se continúa al principio del Aragoniense. En la zona Z, las faunas de macromamíferos se asemejan a las de periodos anteriores; sin embargo, al comienzo de la zona A se produce un fuerte reemplazamiento faunístico marcado por la primera aparición de numerosos taxones de macromamíferos (*Anchitherium*,

Procervulus, Palaeomerycidae) y la desaparición de la mayor parte de los rumiantes sin apéndices craneales predominantes en el área durante la primera parte del Ramblense (zona Z).

Litoestratigrafía y sedimentología

La sección tipo del Ramblense se encuentra en las inmediaciones del Arroyo del Ramblar, cerca de la localidad de Navarrete del Rfo, en el norte de la provincia de Teruel. Tanto la sección tipo como los yacimientos de mamíferos existentes en ella o en sus alrededores se ubican en una zona con predominio de facies detríticas constituidas por limos y arcillas rojas (Formación Navarrete y miembro inferior de la Formación Agreda; Daams *et al.*, 1987). En la parte inferior de la sección son frecuentes los niveles conglomeráticos, mientras que hacia la mitad superior son cada vez más numerosas las intercalaciones de margas y calizas, las cuales llegan a dominar en la parte alta de la sección. Los depósitos de la parte basal de la sección han sido interpretados como correspondientes a facies de zonas medias o distales de abanicos aluviales (Hernández *et al.*, 1983), que posteriormente, hacia techo de la sección, evolucionan a depósitos propios de medios palustres o lacustres.

En otros puntos de la Cuenca de Calatayud-Daroca, por ejemplo, en las proximidades de Ateca, existen también depósitos de edad Ramblense (yacimiento Ateca-III, datado como Ramblense superior) (Bruijn, 1967; Bruijn *et al.*, 1992). Estos depósitos consisten en facies detríticas que, hacia el centro de cuenca pasan rápidamente a alternancias de margas arcillosas y carbonatos dolomíticos, y estos, a su vez, deben pasar a depósitos evaporíticos no aflorantes de la Unidad Inferior (Sanz Rubio, 1999). El espesor de depósitos ramblenses en estas áreas centrales de la Cuenca de Calatayud-Daroca no puede ser precisado con los datos actualmente existentes. Por su parte, en la Cuenca de Teruel no se ha datado ningún yacimiento de edad Ramblense; la Unidad Detrítica Inferior, que constituye el término estratigráfico más bajo del registro mioceno en la zona meridional de la cuenca, es de edad Aragoniense (Adrover *et al.*, 1978; Alcalá *et al.*, 1997).

Aragoniense

Bioestratigrafía y eventos faunísticos mayores

El Aragoniense fue propuesto y definido por Daams *et al.* (1977), utilizando como límite inferior para el Aragoniense el primer registro de *Anchiterium* (*Perissodactyla*), considerando éste como un evento paleontológico de gran relevancia. No obstante, el mayor conocimiento posterior de las faunas de micromamíferos hizo aconsejable realizar una propuesta de cambio para este límite inferior cuando se publicaron los resultados relativos a la unidad infrayacente, el Ramblense (Daams *et al.*, 1987). Este nuevo límite inferior se definió en función de la presencia de los primeros cricétidos

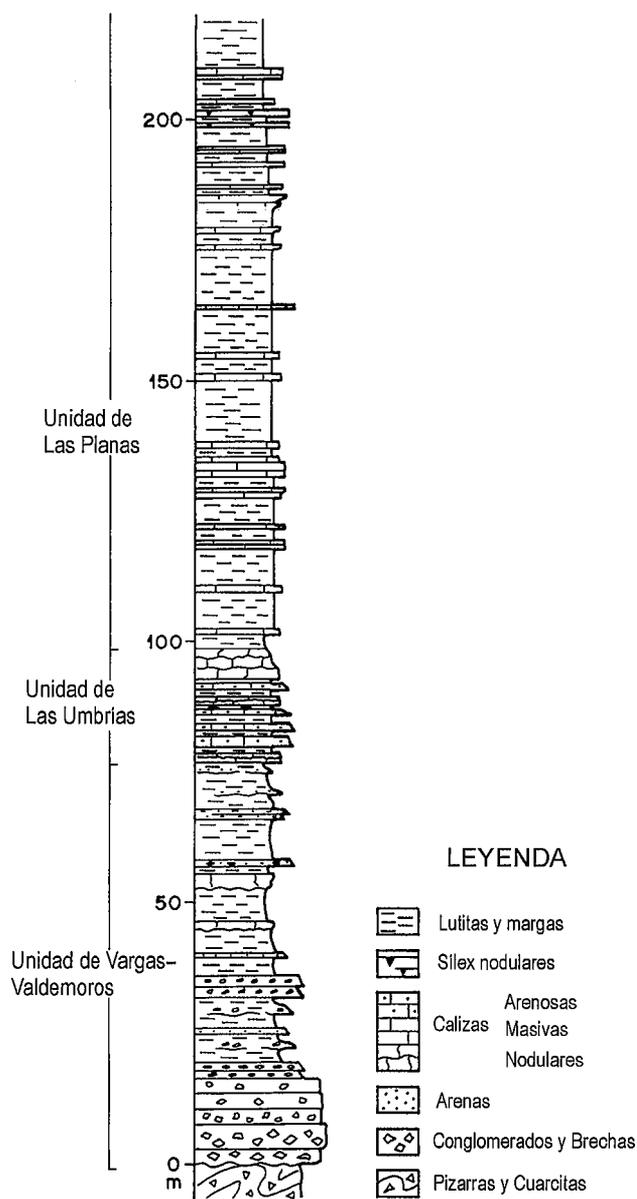


Figura 4.- Sección tipo del Aragoniense levantada en los alrededores de la localidad de Villafeliche, con indicación de las unidades estratigráficas mayores en que se subdivide la sección.

modernos. A partir de la fecha de esta última publicación, el Aragoniense quedó definitivamente subdividido en seis zonas: B, C, D, E, F y G. Por su parte, el límite superior del Aragoniense y, de ahí, el límite inferior del Vallesiense, quedó establecido sobre la base del primer registro de *Hipparion* (*Perissodactyla*). El contenido y duración de las zonas en que se subdivide el Aragoniense es muy variado (Fig. 3). A continuación se señalan únicamente los eventos faunísticos más relevantes reconocidos dentro del Aragoniense, pudiéndose obtener información adicional en Daams *et al.* (1999a) y en las referencias incluidas en ese trabajo.

En el Aragoniense inferior (zonas B y C, MN4), el registro de los primeros cricétidos modernos y el último registro de *Ligerimys* (*Eomyidae*) marcan el límite inferior y superior de este intervalo. En el Aragoniense

inferior se reconoce también el primer registro de representantes de Bovidae, Creodonta y Proboscidea. Durante este periodo se produce un cambio en las asociaciones de roedores, que pasan de estar dominadas por el núcleo constituido por eomyidos y glíridos de la subfamilia Myomiminae, como ocurría en el Rambliese, a asociaciones dominadas por cricétidos modernos de la tribu Cricetini (Meulen y Daams, 1992). Este reemplazamiento, sin embargo, se realiza de una forma escalonada, con el establecimiento en la zona B del género *Democricetodon* como un taxón regular en el área y la entrada de los géneros *Megacricetodon* y *Eumyarion* en la zona C. Desde el momento en el que el género *Ligerimys* se extingue (zona Da), comienza el dominio de alguna de las especies de Cricetini. Emparejada con este evento puede destacarse la instalación progresiva de las denominadas "faunas con *Hispanotherium*", que adquieren su desarrollo típico durante las biozonas C y D.

En el Aragoniense medio (zonas Da, Db, Dc, Dd y E, MN5), las faunas de micromamíferos presentan pocas innovaciones, debiendo resaltarse tan sólo un empobrecimiento en el número de especies de glíridos y un aumento en la frecuencia relativa de cricétidos (Daams *et al.*, 1998). No obstante, esta misma zona D presenta un registro de macromamíferos muy característico en toda la Península Ibérica; se trata de la asociación *Hispanotherium* con *Triceromeryx* y la presencia de *Anchitherium* poco frecuente. La desaparición de las "faunas con *Hispanotherium*" también se realiza de forma progresiva durante el tránsito Aragoniense medio a superior (zonas E/F), mostrando la zona E un predominio claro de *Anchitherium*, *Tethyragus* y el primer registro de *Heteroprox*. Por contra, en los micromamíferos el único cambio importante en esta zona es el primer registro de *Cricetodon* (Cricetidae).

Los micromamíferos del Aragoniense superior (zonas F y G, MN6-7/8) se caracterizan por la mayor diversidad y abundancia del género *Megacricetodon* (Cricetidae), estando todas las subdivisiones del Aragoniense superior basadas en los cambios evolutivos y nuevas migraciones de este género. Desde el principio del Aragoniense superior, se produce otra importante renovación faunística. Daams *et al.* (1999c) detectan un colapso en las faunas de roedores que viene marcado por un progresivo incremento en el número de taxones de glíridos inmigrantes del norte de Europa, y la extinción de los últimos representantes de los Myomiminae endémicos. Además, se produce la sustitución brusca de *Megacricetodon collongensis*, taxón muy abundante durante gran parte del Aragoniense inferior y medio, por *M. gersii*, inmigrante del norte, al comienzo de la zona F. A lo largo del Aragoniense superior se produce un fuerte descenso en la equitabilidad (diversidad registrada/diversidad máxima posible) en las asociaciones de roedores llegando a alcanzar los mínimos durante la primera parte de la Zona G3. A partir de ese momento comienza una recuperación progresiva que continúa durante el Vallesiese inferior.

En el caso de las faunas de macromamíferos, durante la zona G se desarrolla una asociación faunística muy

típica y constante dominada por *Alicornops simorreense* y *Euprox*. Entre G2 y G3 se produce el último registro de *Tethyragus* y *Heteroprox* y el primer registro de *Miotragoceras*.

Litoestratigrafía y sedimentología

La sección tipo del Aragoniense se ubica en los afloramientos situados inmediatamente al este de la localidad de Villafeliche, a lo largo de la Rambla de Vargas. La sucesión de sedimentos miocenos se dispone discordantemente sobre materiales cámbricos formados por pizarras, cuarcitas y esquistos calcáreos. El espesor de la sucesión miocena supera los 200 m (Fig. 4), distinguiéndose tres unidades, que se han denominado, de base a techo, Unidad de Valdemoros-Vargas, Unidad de Las Umbrías y Unidad de Las Planas (Daams *et al.*, 1999a). La primera de las unidades está constituida esencialmente por lutitas rojas, con gravas y areniscas intercaladas en la parte inferior de la unidad, mientras que hacia su parte superior se hacen más frecuentes niveles de calizas nodulosas (paleosuelos) y margas gris-verdosas, estas últimas marcando un tránsito gradual a la Unidad de Las Umbrías. Los depósitos de la Unidad de Valdemoros-Vargas se interpretan como propios de abanicos aluviales de escaso desarrollo que evolucionaron en la vertical a ambientes de abanico aluvial distal en los que se instalaron lagos carbonatados muy someros. La abundante presencia de niveles de paleosuelos carbonatados evidencia el carácter discontinuo de la sedimentación aluvial.

La Unidad de Las Umbrías está constituida por tres tipos principales de facies: calizas tobáceas, margas verdosas a grises, en ocasiones muy oscuras, y carbonatos nodulosos. La parte más superior de la unidad, que en conjunto presenta 22 m de espesor, está formada por un potente banco de caliza nodulosa que puede ser seguido lateralmente a lo largo del área, constituyendo por tanto un buen nivel de correlación. Los depósitos carbonatados y margosos que forman la Unidad de Las Umbrías fueron acumulados en un ambiente palustre, dentro del cual alternaron en la horizontal y en la vertical lagos someros de agua dulce y zonas pantanosas, medios estos muy favorables para la concentración de restos de vertebrados, como demuestra el hallazgo de 19 yacimientos en esta unidad.

La Unidad de Las Planas comprende unos 110 m de lutitas rojas con niveles intercalados de margas verdes y grises y carbonatos nodulosos blancos. Estos últimos son típicamente dolomicitas, presentando en muchos casos pseudomorfos de moldes de yeso y trazas de raíces. Esta asociación de facies sugiere que los depósitos de la Unidad de Las Planas se acumularon en zonas de bajo relieve en partes distales de abanicos aluviales. En este ámbito, los carbonatos y margas se depositaron en lagos o charcas muy someros que experimentaron frecuentes episodios de exposición subaérea (Sanz *et al.*, 1995).

En otras áreas de la Cuenca de Calatayud-Daroca, especialmente hacia partes centrales de la cuenca, el

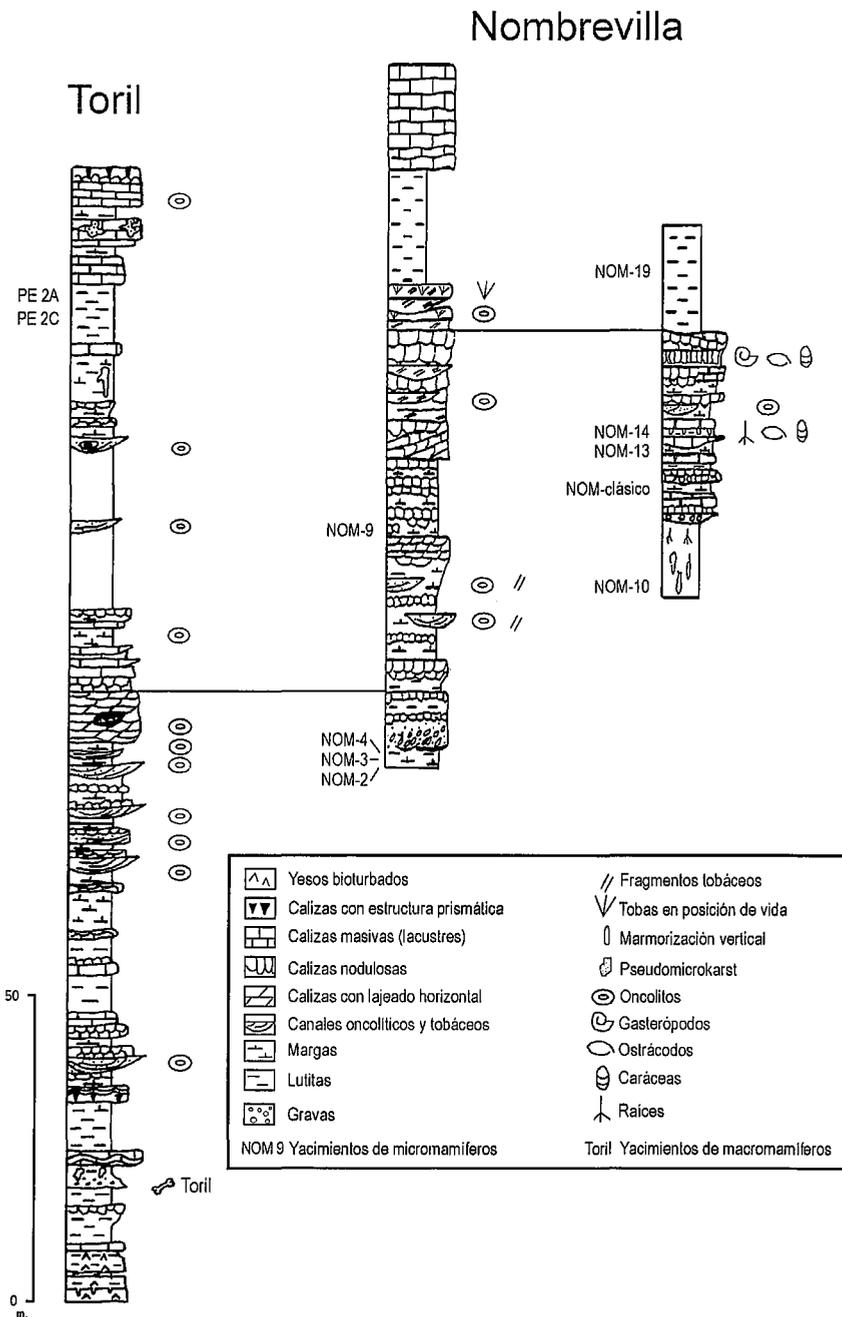


Figura 5.- Correlación estratigráfica de las secciones estudiadas en el área de Daroca-Nombrevilla, con indicación de la posición de los yacimientos de macro y microvertebrados existentes en dichas secciones (yacimiento NOM clásico según Bruijn *et al.*, 1992).

registro de edad Aragoniense está representado por potentes depósitos de evaporitas (yesos laminados con intercalaciones de magnesita, margas dolomíticas con yesos laminados, etc.) que hacia partes altas de la sucesión pasan a unidades de carácter carbonatado (dolomías y margas dolomíticas, calizas laminadas diagenéticas, calizas brechoides, calizas bioclásticas, etc.) (Sanz Rubio, 1999). En el área noroeste de la cuenca, la sección de Armantes, constituida por 280 m de limos y arenas rojizos con intercalaciones de carbonatos, que culminan en un tramo de calizas de unos 10 m de espesor, ha sido datada en su totalidad como Aragoniense (Krijgsman, 1996), correspondiendo los depósitos de esta sección a facies aluviales distales en tránsito a sistemas lacustres. Por su parte, la Cuenca de Teruel contiene una importante sucesión de depósitos de

edad Aragoniense en la parte meridional de la cuenca (Alcalá *et al.*, 1997), mientras que en su parte septentrional el registro correspondiente al Aragoniense es muy escaso, habiendo sido datados niveles de esta edad en puntos muy localizados (ej., yacimiento de Montalvos, de edad Aragoniense inferior; Dam, 1997). Dada la escasa presencia de registro Aragoniense en la zona de Teruel-Alfambra, su estudio no se incluye en el presente trabajo.

El límite Aragoniense-Vallesiense: área de Daroca-Nombrevilla

Varios kilómetros al este de la sección tipo del Aragoniense en Villafeliche, los sedimentos miocenos que aparecen entre las localidades de Daroca-Nombrevilla

contienen una sucesión de abundantes yacimientos de macro y microvertebrados que permite establecer de forma bastante precisa la transición desde el Aragoniense superior al Vallesiense y la caracterización bioestratigráfica de la parte inferior de este piso en la Cuenca de Calatayud-Daroca. La evidencia cronológica más antigua en la sección corresponde a los yacimientos de Toril (incluidos como un único yacimiento en la figura 5), con fauna de macro y microvertebrados de edad Aragoniense superior, equivalente en edad al yacimiento Las Planas 5H de la sección tipo del Aragoniense en Villafeliche (Daams *et al.*, 1999a). Los yacimientos de Toril aparecen ubicados hacia la base de una potente sucesión (ca. 180 m), que es correlacionable lateralmente con las dos secciones localizadas en las inmediaciones del pueblo de Nombrevilla, donde se sitúan numerosos yacimientos de micromamíferos (NOM-2 a NOM-19) (Fig. 5) que cubren el tránsito Aragoniense-Vallesiense. Así, los yacimientos NOM-2, 3 y 4 son de edad Aragoniense, mientras que el resto son de edad Vallesiense. De acuerdo con esto, la sucesión de faunas presente en el área de Daroca-Nombrevilla permite complementar el registro documentado hasta ahora a partir de la sección tipo del Aragoniense en Villafeliche, donde faltaban los términos finales del Aragoniense, y establecer de forma bastante precisa su tránsito al Vallesiense. Dicho tránsito tiene lugar en las facies de lutitas rojas con intercalaciones de paleosuelos y cuerpos de canales oncolíticos observables por debajo de un farallón potente situado unos 70 m por encima de los yacimientos de Toril.

En conjunto, los yacimientos que permiten situar el límite Aragoniense-Vallesiense en el área de Daroca-Nombrevilla aparecen ubicados en un contexto paleoambiental característico de llanuras aluviales alternantes con sistemas lacustres muy someros. El yacimiento del Toril está contenido en depósitos de gravas finas que pasan lateral y verticalmente a arenas, correspondiendo estos depósitos al relleno de una pequeña depresión localizada en un ambiente de llanura aluvial. Por su parte, muchos de los yacimientos de Nombrevilla (NOM) aparecen en facies de margas arcillosas ricas en materia orgánica correspondientes a charcas pantanosas situadas entre depósitos carbonatados palustres, aunque algunos, como es el caso de los yacimientos NOM-2, NOM-3, NOM-4, NOM-10 y NOM-19, están relacionados con encharcamientos efímeros en ambientes de llanura aluvial.

Vallesiense

Bioestratigrafía y eventos faunísticos mayores

Como se ha indicado en el capítulo correspondiente al Aragoniense, el límite inferior del Vallesiense se ha establecido con la primera aparición de *Hipparion* (*Perrissodactyla*) (Daams *et al.*, 1977). Este piso continental se divide en Vallesiense inferior y Vallesiense superior sobre la base del registro regular más antiguo de

los múridos. Dentro del Vallesiense inferior, Daams y Freudenthal (1981) definieron dos zonas: H e I (Fig. 3). La zona H está caracterizada, en cuanto a los micromamíferos, por una gran abundancia del cricétido hiposodonto *Hispanomys* combinada con la presencia de *Megacricetodon ibericus*. En cuanto a los macromamíferos, se registra la primera aparición de *Hipparion* y el jiráfido *Decennatherium pachecoi*. La zona I está definida sobre la base de la primera aparición de *Cricetodon*, otro cricétido de talla grande, asociado con una única especie del género *Megacricetodon* (*M. debruijini*) y la presencia abundante de *Hispanomys*. A pesar de no intervenir los macromamíferos en la definición de esta zona I, dicha zona se caracteriza también por la primera aparición de *Amphiprox* y la última aparición de los Palaeomeriidae. El Vallesiense superior consta de una única zona (zona J), definida por Weerd (1976). La zona se ha definido por el intervalo entre la primera aparición de *Progonomys hispanicus* y la primera aparición de *Parapodemus lugdunensis*. En cuanto a las faunas de grandes mamíferos, se produce la primera aparición de los géneros *Tragoportax* (Boselaphini) y *Microstonyx* (Suidae), al comienzo de esta zona, y la primera aparición de los Caprinae en el interior de ella. Sobre la base de las asociaciones de múridos, esta zona ha sido subdividida en tres (subzonas J₁, J₂ y J₃) por Dam (1997) (Fig. 3).

El Vallesiense se encuentra ampliamente representado tanto en la Cuenca de Calatayud-Daroca como en la parte norte de la Cuenca de Teruel (región de Teruel-Alfambra). Sin embargo, mientras que en la primera de estas cuencas las faunas registradas pertenecen principalmente al Vallesiense inferior (secciones de Nombrevilla y Pedregueras), en la Cuenca de Teruel pertenecen principalmente al Vallesiense superior. Mientras que en la parte sur de la Cuenca de Teruel existe registro de la zona H, por ejemplo en el yacimiento de Casas Altas (Alcalá *et al.*, 1997), esta zona no se encuentra representada en la parte norte de la cuenca, siendo el registro bioestratigráfico más antiguo dentro del Vallesiense las faunas de la zona I. Por contra, el Vallesiense superior está ampliamente representado en esta parte de la Cuenca de Teruel.

El mayor evento, en cuanto a faunas de micromamíferos registrado durante el Vallesiense, es la rápida expansión de los múridos (SM10) al comienzo del Vallesiense superior (eventos SM, según Dam, 1997). Los múridos probablemente entraron en competencia directa con algunos taxones registrados durante el Vallesiense inferior puesto que la desaparición de estos últimos del registro coincide con dicha expansión. Entre los taxones más destacados que se extinguen en este periodo puede mencionarse el género *Megacricetodon*, ya que constituye uno de los taxones más frecuentes en las asociaciones del Aragoniense y Vallesiense inferior. Dicha expansión de los múridos también coincide con la extinción de los eomyidos en la Cuenca de Teruel. Posteriormente, a lo largo de la Zona J2 (SM10B), se produce la extinción de diversos taxones de roedores

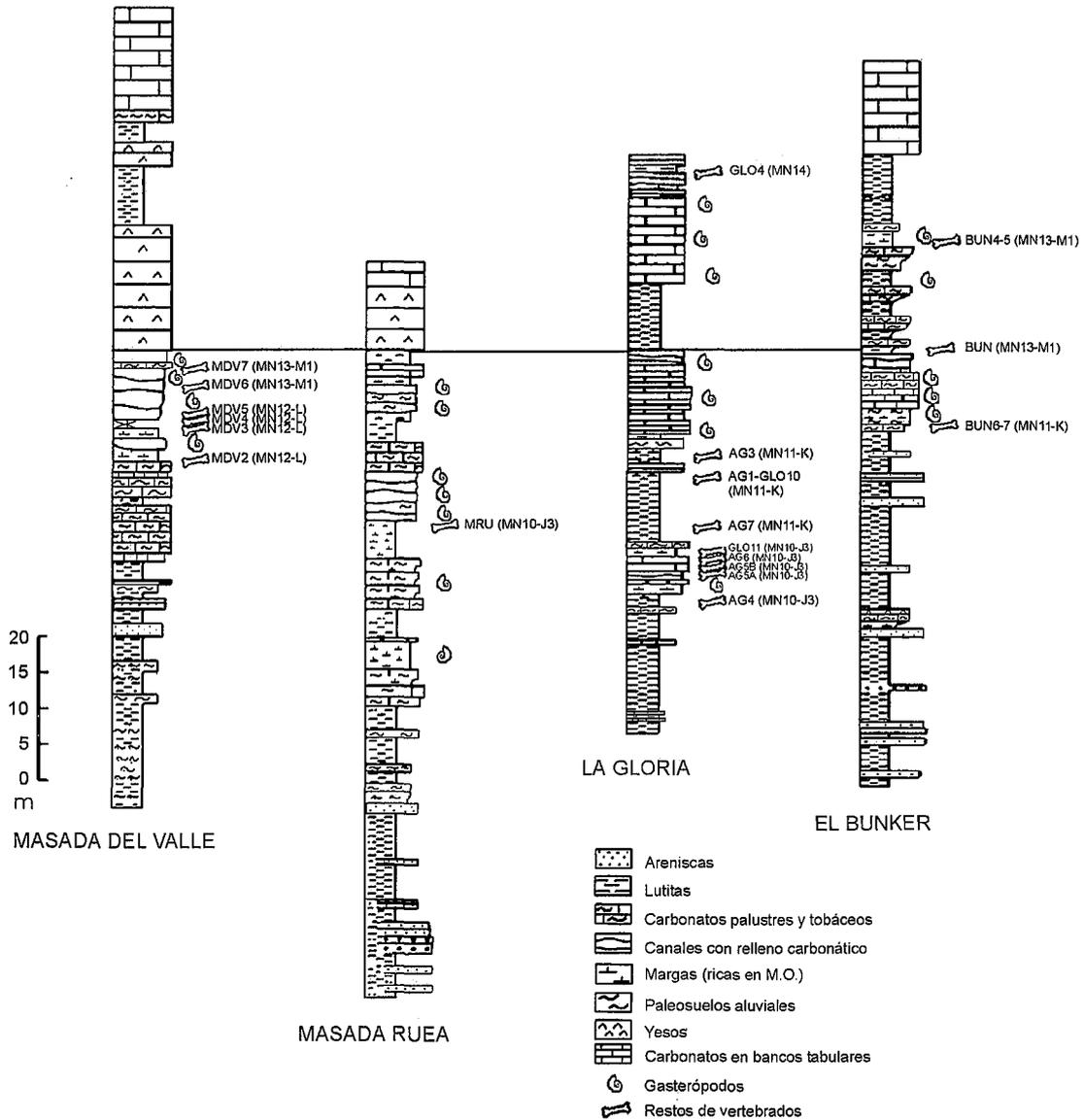


Figura 6.- Correlación estratigráfica de secciones con registro Vallesiense a Plioceno en el sector septentrional de la Cuenca de Teruel (un esquema de correlación más completo puede encontrarse en van Dam, 1997). Los códigos de yacimientos de vertebrados tienen la siguiente equivalencia: MDV, Masada del Valle; MRU, Masada Rueva; GLO, La Gloria; AG, Los Aguanaces; BUN, El Búnker.

(*Cricetulodon*, *Tempestia*, *Myomimus*) e insectívoros (*Miosorex*). Este evento ha sido interpretado como el resultado de haber sobrepasado un umbral en la transición hacia el modo climático subtropical-árido, el cual se estima que ocurrió entre los 9,4 y 8,2 Ma. El resultado de estas extinciones es la caída de diversidad que se registra alrededor de los 8,9 Ma (SM10C) (Dam, 1997; Dam y Weljte, 1999).

En lo que se refiere a las faunas con grandes mamíferos, la entrada del género *Hipparion* es el evento más notable y conocido; asociada a esta inmigración se detecta la entrada de los primeros Giraffidae modernos, como *Decennatherium*, pero el resto de los elementos faunísticos es similar a los presentes durante el Aragoñense superior. El final del Vallesiense viene marcado, al igual que en las asociaciones de micromamíferos, por una fuerte caída en la diversidad (Dam, 1997; Dam y Weljte, 1999).

Litoestratigrafía y sedimentología

Como se ha indicado en el capítulo anterior, los afloramientos existentes entre las localidades de Daroca-Nombrevilla contienen una sección muy completa de los depósitos de edad Vallesiense inferior. Dichos depósitos consisten esencialmente en lutitas rojas, con intercalaciones locales de gravas y arenas, que alternan con niveles carbonatados en los que predominan facies de calizas nodulosas y acumulaciones de oncolitos y tobas, tanto en posición de crecimiento como en cuerpos canalizados (Fig. 5). La asociación de facies observada en el área de Daroca-Nombrevilla corresponde a un ambiente de abanicos aluviales distales que se interdigitan con facies propias de lagos carbonatados muy someros con abundantes rasgos de exposición subaérea. Las concentraciones de restos de micromamíferos encontradas en la

sección se relacionan con facies de margas oscuras correspondientes a charcas de carácter pantanoso.

En los sectores septentrional y central de la Cuenca de Calatayud-Daroca, el registro Vallesiense es bastante reducido (Canudo y Cuenca, 1989; Sanz Rubio, 1999), debido en parte a que las condiciones evaporíticas que predominaron en la cuenca durante este periodo limitan en gran medida la posibilidad de encontrar yacimientos de vertebrados de esta edad. En cualquier caso, por correlación con la sección de Daroca-Nombrevilla, los depósitos de edad Vallesiense hacia el centro de cuenca consisten esencialmente en carbonatos, entre los que destacan facies de calizas bioclásticas, calizas brechoides con pseudomorfo de yeso y calizas laminadas formadas por transformación diagenética de evaporitas previas (Sanz Rubio, 1999) (Fig. 2A).

En la parte norte de la Cuenca de Teruel, el registro vallesiense comprende la Unidad I y parte de la Unidad II definidas por Alonso-Zarza y Calvo (2000) (Fig. 2B). En algunos puntos de este sector de la cuenca (base de la sección de Masía de La Roma) se han datado depósitos de edad Vallesiense inferior pero en la actualidad estos depósitos, constituidos por canales de carbonatos bioclásticos y margas ricas en materia orgánica, han desaparecido debido a obras recientes. El registro más amplio correspondió así al Vallesiense superior (zona MN10). Este, desde un punto de vista litológico, está formado por depósitos de lutitas rojas con intercalaciones de paleosuelos calcáreos que, tanto en sentido transversal como longitudinal a lo largo del eje de la cuenca, se interdigitan con secuencias de canales rellenos por carbonato con depósitos de carácter palustre a techo, calizas bioclásticas lacustres someras y niveles lateralmente discontinuos de margas ricas en materia orgánica (Fig. 6).

Turoliese

Bioestratigrafía y eventos faunísticos mayores

Las asociaciones de macromamíferos de los alrededores de Teruel sirvieron como base para la definición del Turoliese, por lo que pueden considerarse una referencia obligada en los estudios de paleontología de mamíferos de este intervalo temporal; de hecho, dos de estos yacimientos situados en las cercanías de la ciudad de Teruel constituyen la referencia de unidades de la escala de mamíferos neógenos continentales (Mein, 1990; Bruijn *et al.*, 1992): Los Mansuetos (MN12) y El Arquillo (MN13). El Turoliese fue subdividido por Weerd (1976), sobre la base de los muridos, en tres acrozonas. Esta zonación del Turoliese fue refinada posteriormente por Mein (1990), quien propuso la subdivisión tripartita de la zona *Stephanomys ramblensis* de Weerd (1976), correspondiente al Turoliese superior. Recientemente, van Dam (1997) ha propuesto una nueva nomenclatura para dichas zonas (Zonas K, L, M1, M2 y M3) con el fin de homogeneizar la nomenclatura de las biozonas

utilizadas en el Turoliese con las del Rambliense-Aragoniense (Daams y Freudenthal, 1981).

La zona K, que comprende el Turoliese inferior (MN11), fue definida por Weerd (1976) como la acrozona *Parapodemus lugdunensis*. La extensión de esta zona también coincide exactamente con la distribución estratigráfica del zapódido *Eozapus*, así como de *Occitanomys sondaari* y *Huerzelerimys vireti*. Además, en esta zona se registra la primera aparición de *Parapodemus gaudryi*, *Kowalskia* y *Dipoides*. También en esta zona se encuentra el primer registro de *Plioviverrops guerini*, que coexiste con *Indarctos atticus*, *Adcrocuta eximia* y *Paramachairodus orientalis*. El jiráfido *Decennatherium* es sustituido por *Birgerbohlinia schaubi*. *Dorcatherium* y *Micromeryx* se registran por última vez. El cérvido *Lucentia* es típico de la zona. Además del *Hipparion* de talla grande registrado en la zona anterior, se encuentra otra especie de talla pequeña, *Hipparion gromovae*, así como una menor proporción de restos de rinocerótidos.

La siguiente zona (Zona L) corresponde a la zona *Parapodemus barbarae* de van de Weerd (1976) y comprende todo el Turoliese medio (MN12). Se define como el intervalo entre la primera aparición de *P. barbarae* y la primera aparición de *Stephanomys ramblensis*. Otros micromamíferos característicos de esta zona son *Occitanomys adroveri*, *Huerzelerimys turolensis* y *Atlantoxerus adroveri*, los cuales se restringen exclusivamente a la misma. En el área se registra también la primera aparición del lepórido *Alilepus*. Los géneros de insectívoros, bastante raros en la zona K, presentan en la zona L mayor abundancia. En el Turoliese medio (MN12), los carnívoros presentan una gran diversidad, especialmente de hiénidos y félidos, destacando además los primeros restos conocidos de Caninae en Eurasia (*Canis cipio*). Asimismo, hay una gran proliferación de bóvidos; además de Boselaphini (representados por *Tragoportax*), se registran hipotraginos y antilopinos. El cérvido más característico pertenece al género *Turriacemas*, cuya localidad tipo, así como la del género *Hispanodorcas* y de cuatro especies de macromamíferos hasta el momento, es Cerro de la Garita (Concud). El équido más abundante en esta zona es *Hipparion concudense*, de talla mediana. Los proboscídeos están representados con varias especies diferentes.

Como se ha indicado anteriormente, la Zona M (zona *Stephanomys ramblensis* de Weerd, 1976) fue subdividida en tres subzonas por Mein (1990), que comprenden la totalidad del Turoliese superior. La definición de las mismas, propuesta por Dam (1997), es la siguiente: Zona M1, acrozona *Castromys inflatus*; Zona M2, constituida por el intervalo entre la última aparición de *Castromys inflatus* y la primera aparición de *Paraethomys miocaenicus*; Zona M3, definida como el intervalo entre la primera aparición de *Paraethomys miocaenicus* y la primera aparición de *Celadensia*. Otros taxones importantes de micromamíferos, como *Apodemus*, *Apocricetus* y *Blancomys*, presentan su primer registro en el área de Teruel durante la zona M1.

En el Turoliense superior (MN13) se encuentran numerosos carnívoros, en parte gracias a la riqueza del yacimiento de Las Casiones (Villalba Baja), excavado en los últimos años (Alcalá, 1994). Esto ha permitido recuperar varias especies de mustélidos y de félidos. El artiodáctilo más peculiar es un hipopótamo, conocido únicamente en este periodo temporal. Además, el cérvido *Pliocervus* está representado por dos especies, una de ellas propia de la Cuenca de Teruel. *Hipparion* está diversificado en tres especies diferentes, al menos, destacando entre ellas *Hipparion periafricanum*, la especie de menor talla conocida de este género. Los rinocerótidos quedan reducidos a una sola especie de gran talla: *Lartetotherium schleiermacheri*.

El comienzo del Turoliense viene marcado por la recuperación que se produce en la diversidad (8,7 Ma; SM11) debido a la entrada en la Cuenca de Teruel de varios inmigrantes centroeuropeos (*Parapodemus*, *Eozapus*, y probablemente *Kowalskia*) (van Dam, 1997). La diversidad vuelve a incrementarse alrededor de los 8 Ma (SM11A) con la entrada de varios taxones de micromamíferos entre los que destacan dos semiacuáticos (*Dipoides* y *Archaeodesmana*), indicadores de la restauración de condiciones relativamente más húmedas. De aquí en adelante la diversidad continuará incrementándose regularmente hasta los 6,5 Ma.

En relación a las faunas de micromamíferos puede destacarse también el fuerte reemplazamiento de taxones de roedores ocurrido entre los 7 y 6,5 Ma (SM13). Este reemplazamiento fue taxonómico, ya que no se registran grandes cambios en la diversidad ni en la estructura de las asociaciones fósiles. Todos los taxones de cricétidos y múridos que desaparecen durante el evento SM 13 son reemplazados por taxones de talla y morfología dental similares. Así, *Huerzelerimys* es reemplazado por *Castromys*, *Parapodemus* por *Apodemus*, *Occitanomys adroveri* por *O. alcalai*, *Kowalskia* por *Apocricetus* y *Ruscinomys* parcialmente por *Blancomys*.

El comienzo del Turoliense en las asociaciones de grandes mamíferos viene marcado por la desaparición de *Alicornops* (probablemente el último rinoceronte gregario) y la instalación de una fauna muy monótona dominada por *Hipparion* y el bóvido *Tragoportax*. A lo largo del Turoliense existe un aumento progresivo en la diversidad de las asociaciones de grandes mamíferos, con entrada de inmigrantes de distinto origen.

Litoestratigrafía y sedimentología

En la Cuenca de Calatayud-Daroca, el Turoliense está formado esencialmente por depósitos carbonatados de carácter fluviolacustre que se instalaron sobre facies terrígenas con presencia local de paleosuelos. Dichos depósitos se incluyen dentro de la Unidad Superior, definida por Sanz Rubio (1999) (Fig. 2A). La datación de esta unidad queda restringida a muy escasos yacimientos de vertebrados, entre los que destacan el de Cortasogas (J.A. van Dam, datos no publicados), que ha ser-

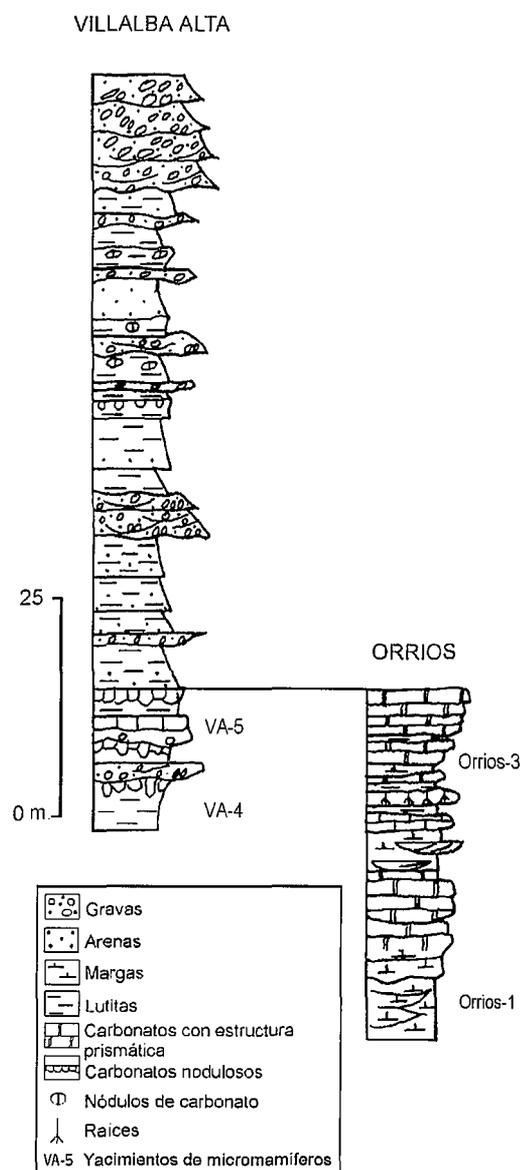


Figura 7.- Correlación estratigráfica de secciones con registro de edad Plioceno en la parte más septentrional de la Cuenca de Teruel (área de Alfambra-Villalba Alta). El código VA corresponde a los yacimientos de vertebrados de Villalba Alta.

vido para datar la base de la unidad, y los de Fuentes y Velilla de Jiloca (Hernández *et al.*, 1983). Por el contrario, en la parte septentrional de la Cuenca de Teruel, los depósitos de edad Turoliense están notablemente bien caracterizados y se incluyen en las unidades II y III de Alonso-Zarza y Calvo (2000). La parte inferior del registro sedimentario turoliense presenta una asociación de facies análoga a la del Vallesense superior en este sector de la cuenca, es decir, una asociación caracterizada por canales rellenos de carbonatos, calizas palustres y lacustres someras, margas ricas en materia orgánica y, hacia el borde de cuenca, depósitos terrígenos de carácter aluvial con intercalaciones de paleosuelos calcáreos (Figs 2B y 6). La parte superior, por el contrario, está constituida por un notable espesor (unos 150 m) de sedimentos yesíferos (Fm. Yesos de Tortaja-

da; Weerd, 1976) que se disponen en contacto neto sobre los carbonatos infrayacentes. Los yesos son esencialmente de tipo lenticular con abundante bioturbación y alternan cíclicamente con niveles de sedimentos terrígenos finos. La presencia de esta importante sucesión de materiales yesíferos ha sido interpretada como el resultado del ascenso diapírico de formaciones triásicas en el borde oriental de la cuenca durante el Turolense superior (Gautier *et al.*, 1972; Alonso-Zarza y Calvo, 2000).

Plioceno

Bioestratigrafía

Los yacimientos pliocenos de mamíferos de la Cuenca de Teruel no fueron estudiados hasta tiempos relativamente recientes. A pesar de que algunos yacimientos clásicos fueron considerados como pliocenos (Smith Woodward, 1903; Schlosser, 1907), hay que señalar que se referían al término 'Plioceno' de modo diferente a como lo empleamos hoy; de hecho, los autores citados se referían a yacimientos del Mioceno superior.

Las investigaciones paleontológicas en el sector más septentrional de la Cuenca de Teruel se han desarrollado fundamentalmente en el ámbito de los micromamíferos. El primer trabajo relevante al respecto (van de Weerd, 1976) describe los roedores de las localidades de Orrios 1 y Escorihuela (2 niveles). Adrover (1986) seleccionó Villalba Alta (ya presentado por Adrover *et al.*, 1976) como uno de los yacimientos estudiados en su Tesis Doctoral.

El número de yacimientos pliocenos de Orrios se aumentó hasta seis por Mein *et al.* (1983), quienes se refieren a otro nivel nuevo en Villalba Alta y a otro más en Escorihuela. Adrover *et al.* (1988) presentaron un extenso trabajo sobre los roedores del Plioceno (MN14, MN15a y MN16b) de Teruel. Además de las extensas descripciones, incluyendo 116 dibujos de molares, se documenta por primera vez la coexistencia de dos especies distintas de *Ruscinomys*, la presencia de ocho especies de múridos en un mismo yacimiento y se describen tres nuevas especies: *Occitanomys alcalai*, *Ruscinomys gilvosi* y *Paraethomys abaigari*. En 1990, se publicaron varias contribuciones relevantes en el conocimiento del Plioceno de esta zona. Por una parte, el estudio de los arvicólidos, destacando la descripción de las nuevas especies *Dolomys adroveri* de Orrios 3 y *Mimomys vandermeuleni* de Villalba Alta Río 2a (Fejfar *et al.*, 1990). En el segundo de ellos, Moissenet *et al.* (1990) presenta la propuesta para la definición del nuevo piso Alfambriense, comprendido entre el Turolense y el Villafranquiense (correspondiente a la antigua edad de mamíferos Rusciniense), que fue precisado bioestratigráficamente y litoestratigráficamente en Mein *et al.* (1990) y sintetizada en Anadón *et al.* (1990).

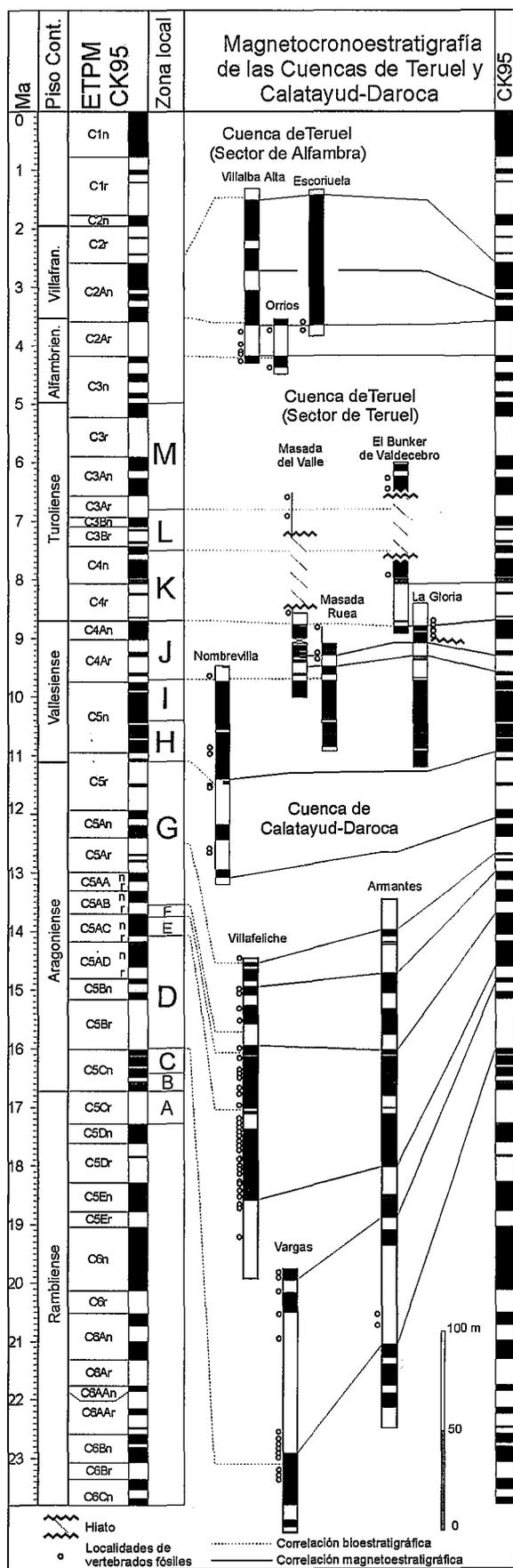
Los macromamíferos pliocenos sólo están bien conocidos en el Alfambriense (MN14), sin que se haya descrito ninguna asociación relevante en otras unidades pliocenas. Sin embargo, el muestreo de varios yaci-

mientos de la zona MN14 ha permitido reconocer carnívoros típicos del Plioceno, como *Nyctereutes donnezani*, *Hyaena pyrenaica* o *Felis issiodorensis*, junto a la persistencia más reciente del género *Plioviverrops*. Los bóvidos, muy frecuentes, están representados por nuevas formas de *Protoryx* encontradas en Orrios 1 (Alcalá, 1994) y por dos nuevas especies de gacelas, una de ellas la de menor talla conocida. Asimismo, se registra una nueva especie de otro antilopino, perteneciente al género *Hispanodorcus*. Se documenta por primera vez el género *Croizetoceros* en la cuenca. Los restos de *Hipparion*, muy frecuentes en los yacimientos miocenos, se encuentran en proporciones mucho menores en las asociaciones pliocenas; se caracterizan por pertenecer a una especie muy grácil, clasificada como *Hipparion fissurae*. Se mantiene en las asociaciones la presencia de un rinocerótido de gran talla, *Stephanorhinus miguelcrusafonti*.

Litoestratigrafía y sedimentología

El Plioceno se reconoce con gran claridad y amplitud a lo largo de las cuencas de Calatayud-Daroca y de Teruel, si bien es en el sector norte de esta última, en el área de Orrios-Villalba Alta, donde presenta mayor espesor y mejores condiciones de afloramiento. En esa zona, el registro plioceno queda incluido en su mayor parte en las unidades IV y V definidas en la cuenca (Fig. 2B), y probablemente en la parte superior de la Unidad III. No se observa, en este sentido, ninguna ruptura o cambio sedimentario importante entre los depósitos miocenos y pliocenos, estando ambos concordantes entre sí. Sin embargo, en el área de Orrios-Villalba Alta, que corresponde a una zona de margen de cuenca, aparecen discordantes sobre materiales paleógenos. Los materiales neógenos reflejan un dispositivo en *onlap*, siendo los pliocenos los más expansivos sobre el borde de cuenca.

El espesor máximo de los depósitos pliocenos, que se reconoce en el área de Orrios-Villalba Alta, es de 100 m, estando constituidos esencialmente por las unidades IV y V antes mencionadas. La Unidad IV muestra una distribución centrípeta, aunque asimétrica, de los depósitos ya que las facies aluviales gruesas, que se reconocen esencialmente hacia el este y norte de la cuenca, pasan a carbonatos lacustres hacia el sur y oeste. Además, la tendencia de la unidad es retrogradante, aumentando la proporción de carbonatos hacia techo. El espesor medio de esta unidad es de 45 m. Los depósitos aluviales consisten en niveles de gravas, tanto clasto como matriz-soportadas, que intercalan niveles de lutitas rojas. Algunos niveles de gravas presentan a techo finas costras laminares edáficas. La geometría y rasgos de estos depósitos indican que corresponden a depósitos de abanicos aluviales de pequeño desarrollo lateral y con paradas en la sedimentación, tal como sugiere la presencia de costras laminares. Hacia el este y norte, se reconocen dentro de las lutitas rojas niveles de paleosuelos carbonatados con estructura nodular. Por último, los depósitos más alejados del margen de cuenca están



constituidos por calizas bien estratificadas en bancos tabulares y que presentan estructuras prismáticas, debidas al desarrollo de raíces, y restos de caráceas, ostrácodos y gasterópodos. Estas calizas alternan con niveles más blandos, de geometría canaliforme, en los que se ha encontrado la mayor proporción de yacimientos de micromamíferos.

La Unidad V presenta un espesor máximo de 56 m. Se dispone en concordancia con la Unidad IV y el límite con la misma está marcado por la entrada de niveles detríticos gruesos sobre los términos esencialmente carbonatados del techo de esta unidad. Consta mayoritariamente de sedimentos detríticos (lutitas rojas, arenas de grano fino y gravas bien estructuradas), intercalando de forma progresiva hacia el sureste niveles de paleosuelos carbonatados nodulosos, los cuales se desarrollan tanto sobre lutitas como sobre arenas. Es frecuente, a lo largo de toda la unidad, la presencia de encostramientos ferruginosos, sobre todo en los niveles de arenas. La distribución de los depósitos detríticos más gruesos y las direcciones de paleocorrientes medidas indican que esta unidad se depositó en un sistema fluvial desarrollado según una dirección general N-S. Dicho sistema evolucionó a un sistema fluviolacustre en el que los depósitos de tobas calcáreas presentan una importante continuidad lateral, sobre todo hacia el margen oriental de este sector norte de la cuenca, lo que pone en evidencia la no adecuación de la paleogeografía de esta unidad a un modelo centrípeto propio de una cuenca cerrada.

Magnetoestratigrafía

Los estudios magnetoestratigráficos en la Cuenca de Calatayud-Daroca fueron iniciados hace más de 20 años por el grupo de la Universidad de Utrecht (Dijksman, 1977). Pero es a partir de 1994 (Krijgsman *et al.*, 1994; Krijgsman, 1996; Krijgsman *et al.*, 1996) cuando se ha venido aplicando un particular esfuerzo en el estudio magnetoestratigráfico detallado del Mioceno de las cuencas de Calatayud-Daroca y Teruel, integrado dentro de los estudios paleontológicos y estratigráficos que paralelamente se han venido desarrollando. Trabajos más recientes han precisado anteriores correlaciones (Daams *et al.*, 1999b) o añadido nuevos datos (Garcés *et al.*, 1997). Por otro lado, dentro del Plioceno se dispone de los resultados de Opdyke *et al.* (1997) en diversas sucesiones magnetoestratigráficas en el sector de Alfambra-Villalba Alta, en el borde septentrional de la Cuenca de Teruel.

Los estudios magnetoestratigráficos en las áreas consideradas perseguían, en general, un doble objetivo. En primer lugar, contribuyen a precisar el armazón cronoestratigráfico construido a partir de las ricas sucesiones de

Figura 8.- Correlación de las secuencias de polaridad magnética obtenidas en secciones de edad Aragoniense, Vallesiense, Turoliense y Alfambiense en la Cuenca de Calatayud-Daroca y en la Cuenca de Teruel (parte norte) con la Escala Temporal de Polaridad Magnética de Cande y Kent (1995) (ver referencias en texto sobre la procedencia de los datos de las distintas secciones).

vertebrados fósiles de la región, que han dado lugar a la definición formal de los pisos paleomastológicos del Ramblense y Aragoniense en la Cuenca de Calatayud-Daroca, y del Turolense y Alfambriense, en la Cuenca de Teruel. En segundo lugar, permiten establecer correlaciones precisas del relleno sedimentario a escala de cuenca con el objeto de contribuir a precisar la evolución paleoambiental y paleoclimática de la región.

Ramblense

Una tarea todavía pendiente en la Cuenca de Calatayud-Daroca es el estudio magnetoestratigráfico de las unidades inferiores de edad Ramblense. La fracturación relativamente intensa de la zona supone un gran inconveniente para el análisis magnetoestratigráfico, dada la necesidad de disponer de largas sucesiones estratigráficas continuas y en condiciones de afloramiento óptimas para el muestreo. Los futuros avances en la correlación litoestratigráfica entre distintos sectores de la zona en que se sitúa la sección tipo del Ramblense facilitarán el estudio magnetoestratigráfico de estas sucesiones.

Aragoniense

La magnetoestratigrafía del Aragoniense ha alcanzado actualmente un nivel de definición muy elevado (Krijgsman *et al.*, 1996; Daams *et al.*, 1999b). La correlación de las sucesiones en el área tipo (Villafeliche y Vargas) con la escala de tiempo de polaridad magnética está fundamentalmente soportada por los resultados magnetoestratigráficos de la sucesión de Armantes, donde se cuenta con un registro continuo de alta calidad que abarca desde 17 Ma hasta 12,5 Ma. La correlación de la serie tipo de Villafeliche con la sucesión de Armantes no presenta dudas gracias a la identificación en ambas localidades del peculiar doblete de crones C5AC-C5AD que caracteriza al Mioceno medio. Por otro lado, los primeros resultados publicados sobre la sucesión de Vargas proponían una correlación de las dos magnetozonas normales de su tramo superior con el cron C5Cn (Krijgsman *et al.*, 1996). Recientes estudios bioestratigráficos han demostrado que esta correlación es inviable y que la totalidad de la sucesión de Vargas se correlaciona con los tramos inferiores de la sucesión de Armantes (Fig. 8), y que es la base de Vargas la que se correlacionan con C5Cn (Daams *et al.*, 1999b). Esto implica, a su vez, que el límite entre las zonas locales C y D del Aragoniense queda recalibrado a 16 Ma, en lugar de 17,3 Ma como se había interpretado anteriormente.

Vallesiense

La magnetoestratigrafía del Vallesiense en el área de Daroca no fue abordada hasta muy recientemente con los nuevos muestreos bioestratigráficos y paleomagnéticos realizados en la clásica sucesión de Nombrevilla. Esta sucesión tenía un particular interés pues es la única localidad donde se ha reconocido una secuencia de faunas aragonienses y vallesienses en directa superposición y relati-

va proximidad estratigráfica (Fig. 5). El análisis magnetoestratigráfico ha permitido la identificación del característico cron C5n cubriendo el intervalo donde se localizan el yacimiento de macrovertebrados del Vallesiense inferior, en coincidencia con los resultados obtenidos para sedimentos de la misma edad en las cuencas del Vallès-Penedès (Garcés *et al.*, 1996a) y Duero (Krijgsman *et al.*, 1996). Según este anclaje, las faunas del Aragoniense superior de la localidad de Nombrevilla 2 deben correlacionarse con el cron C5r.3r (11,6 Ma aproximadamente), mientras que las faunas del Vallesiense inferior de la localidad Nombrevilla 19 ya se encontrarían dentro del cron C4Ar a 9,7 Ma (Fig. 8).

En el área de Teruel, sucesiones aluviales de la misma edad han sido datadas magnetoestratigráficamente en las secciones de Los Aguanaces-La Gloria y Masada Rueva (Garcés *et al.*, 1997). Estas sucesiones no contienen faunas del Vallesiense inferior, pero sí un rico registro del Vallesiense superior (Masía del Barbo) y su tránsito al Turolense (Loa Aguanaces-La Gloria).

Turolense

Las sucesiones turolenses de la Cuenca de Teruel están caracterizadas por la presencia de hiatos sedimentarios, por lo general asociados a las unidades de calizas palustres, como en el Búnker de Valdecebro (Fig. 6). La magnetoestratigrafía del Turolense en la región considerada en este estudio (Krijgsman *et al.*, 1996) no goza de la resolución alcanzada para el Aragoniense. No obstante, es posible proponer una correlación de la sucesión del Bunker de Valdecebro con la escala de tiempo de polaridad magnética basándonos en la calibración de las faunas turolenses obtenida en las cuencas ibéricas de Fortuna (Garcés *et al.*, 1998) y El Cabriel (Opdyke *et al.*, 1997).

Alfambriense y Villafranquiense

La magnetoestratigrafía del Plioceno continental ha sido estudiada en el área de Alfambra (Opdyke *et al.*, 1997), donde se dispone de una rica sucesión de vertebrados fósiles desde el Alfambriense inferior al Villafranquiense (Mein *et al.*, 1990). La correlación magnetoestratigráfica de las sucesiones de Villalba Alta, Escorihuela y Orrios ha permitido calibrar de forma precisa la biozonación establecida con la escala de tiempo de polaridad magnética. Existen ciertas discrepancias, sin embargo, en lo que respecta al límite Alfambriense-Villafranquiense, entre la edad obtenidas en esta cuenca y la obtenida en la Cuenca de Guadix-Baza (Garcés *et al.*, 1996b), donde este límite resulta ser unos 300 ka más joven.

Evolución paleoclimática

Evidencias del registro fósil

Los estudios paleoclimáticos realizados hasta la fecha han ido encaminados principalmente hacia la inferencia de condiciones de humedad y temperatura relativas sobre

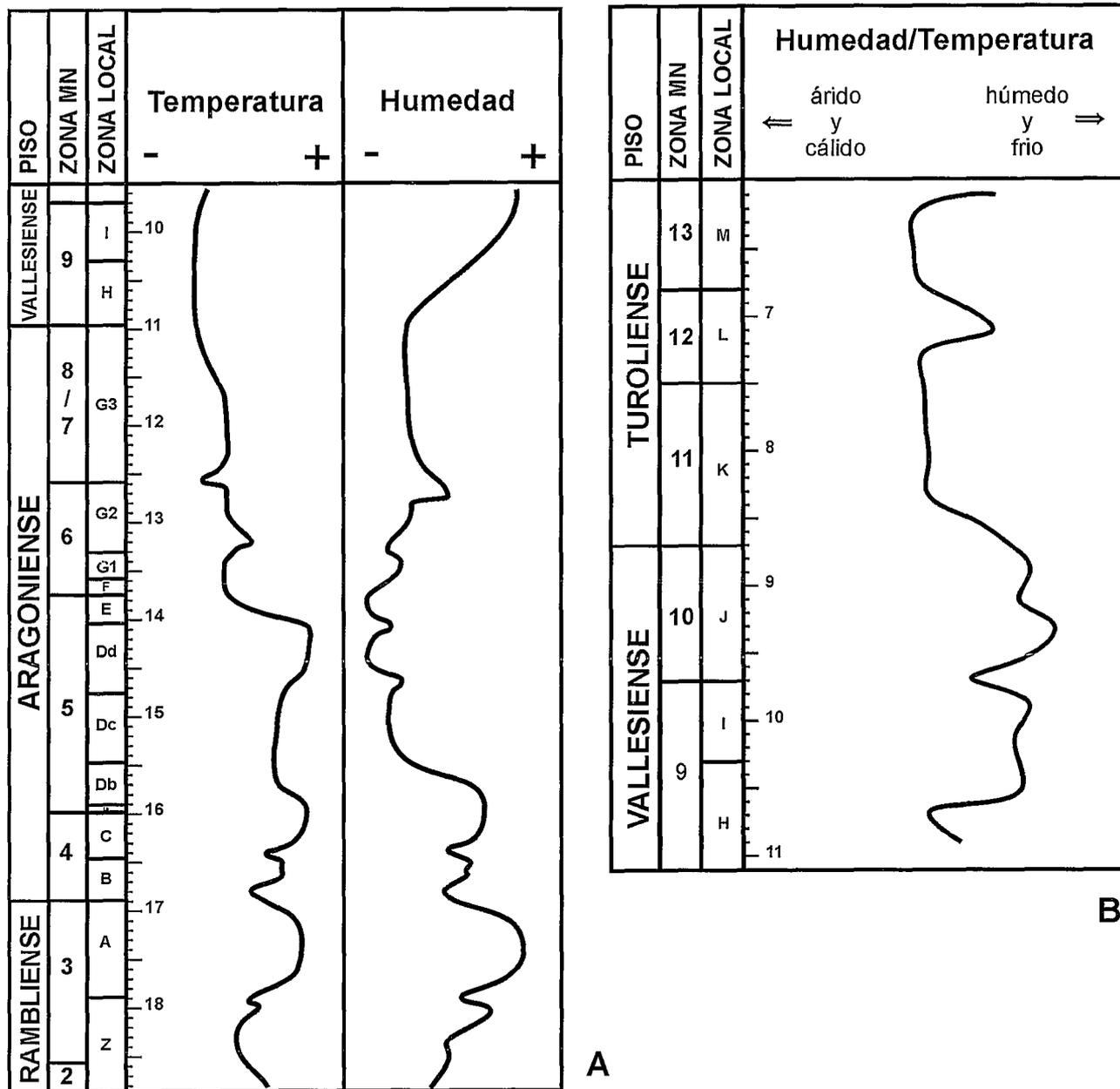


Figura 9.- Curvas de humedad y temperatura relativas basadas en asociaciones de faunas de micromamíferos. A) Resultados obtenidos a partir del registro Rambliesense-Vallesiense en el área de Villafeliche-Daroca (sector oriental de la Cuenca de Calatayud-Daroca) y Calamocha (modificado a partir de Meulen y Daams, 1992); B) Resultados obtenidos a partir del registro Vallesiense-Turoliesense en el sector norte de la Cuenca de Teruel (Región de Teruel-Alfambra) y, en lo que se refiere al Vallesiense inferior, también en Daroca (modificado de Dam, 1997).

la base de las asociaciones de mamíferos, especialmente a partir de asociaciones de roedores. Estos estudios se han restringido a áreas determinadas; así, para el Rambliesense, se han realizado estudios sobre las faunas del área de Calamocha, para el Aragoniense, las de Daroca-Villafeliche, para el Vallesiense, las reconocidas tanto en el área de Daroca como en Teruel, y, para el Turoliesense, principalmente las de la Cuenca de Teruel. La metodología de trabajo seguida por los diversos autores no ha sido la misma, por lo que es difícil la realización de una síntesis general de la evolución paleoclimática durante el Mioceno que abarque todas las áreas estudiadas. A una escala mayor, existen algunos intentos de síntesis paleoclimáticas, como son las propuestas por López Martínez *et al.* (1987), Daams *et al.* (1988) y Calvo *et al.* (1993), en las que se pro-

ponen unas curvas generales de humedad y temperatura relativas para el Mioceno y Plioceno de las cuencas españolas. En estudios posteriores se ha demostrado que estos intentos de síntesis adolecen de un bajo poder de resolución y que en algunos casos no concuerdan con las inferencias realizadas a menor escala temporal y espacial debido a la mejora en el conocimiento de las faunas en las que se han basado (Dam y Weltje, 1999).

Metodología utilizada en la inferencia paleoclimática

Uno de los primeros trabajos en los que se trata de inferir las condiciones climáticas en las que evolucionaron las faunas neógenas de la Península Ibérica es el realizado por Weerd y Daams (1978), en el que se estudian las fau-

nas de roedores del área tipo del Turolense. El método seguido por estos autores vuelve a utilizarse posteriormente por Daams y Meulen (1984), trabajo en el que se establecen con mayor precisión las bases metodológicas. Para la construcción de curvas de humedad relativa, estos autores utilizan una serie de hipótesis de trabajo acerca de las preferencias de los hábitats de las especies fósiles basadas sobre las que muestran los representantes actuales de los diferentes grupos así como sobre la base de criterios sedimentológicos (tipos de ambiente de sedimentación en los que ciertos taxones son predominantes) y, en el caso de las curvas de temperatura relativa, la alternancia entre ciertos taxones de glíridos (*Peridyromys murinus* y *Myomimus dehmi* como indicadores de temperaturas inferiores, mientras que *Microdyromys* y *Eliomys truci* serían indicadores de temperaturas más altas). Las curvas construidas por los autores mencionados anteriormente así como las posteriores basadas en esta misma metodología (Daams *et al.*, 1988) demostraron ser una buena aproximación hacia la interpretación paleoclimática pero adolecían de una baja resolución, la cual podría ser mejorada utilizando otras técnicas.

Algo más tarde, Meulen y Daams (1992) presentan una nueva metodología para la inferencia paleoclimática. Estos autores realizan análisis cuantitativos (Cluster y Componentes Principales) para intentar explicar las variaciones observadas en la presencia y abundancia de los taxones de roedores registrados en el área de Calamocha, Daroca y Villafeliche, de edades comprendidas entre el Ramblense y Vallesense inferior. En el trabajo se explican los componentes principales obtenidos sobre la base de las asociaciones de roedores y su relación con la distribución bioestratigráfica, estrategias reproductoras y temperatura. De esta forma se consigue una inferencia de la temperatura relativa que depende de la asociación de roedores al completo, no sólo de unos pocos taxones usados como marcadores.

Posteriormente, Dam y Weltje (1999) proponen, con el fin de mejorar la metodología de Meulen y Daams (1992), la inferencia de factores climáticos realizando modelizaciones llamadas de "miembros extremos" (*end-member*). Para la misma, estos autores, utilizan 67 asociaciones de roedores del Mioceno superior de España, Francia, Austria y Grecia. Entre los resultados obtenidos se encuentra la propuesta de una curva humedad/temperatura cuya construcción está basada sobre las contribuciones (*Scores*) de 44 localidades de Teruel y del área de Daroca, a un conjunto de composiciones extremas, de las cuales son una mezcla. Puesto que la composición de cada miembro extremo (*end-member*) puede ser interpretada en términos de humedad y temperatura, dadas las preferencias y adaptaciones asumidas para los roedores que los forman, es posible la construcción de curvas de humedad y temperatura.

Resultados

Ramblense-Aragoniense

Meulen y Daams (1992) relacionaron los cambios faunísticos ocurridos alrededor del límite Aragoniense in-

ferior-medio con un aumento de la aridez, aumento que, a su vez, puede ser relacionado con la intensificación del cinturón subtropical (Wolfe, 1985). La datación de este evento aragoniense ha sido posteriormente precisado en 15,5 Ma (edad estimada del límite entre las zonas Db y Dc) (Fig. 9A) sobre la base de nuevo material, así como mediante la reinterpretación de las preferencias ecológicas de los Cricetidae (Daams *et al.*, 1999c). El efecto del enfriamiento ocurrido en el Mioceno medio, siendo éste uno de los escalones más importantes para la disminución global de las temperaturas, es menos obvio en nuestras faunas, pues no se detectan grandes cambios en las mismas. Sin embargo, existe un claro incremento en la riqueza de especies entre 14,2 y 14,0 Ma, causado por la inmigración de especies nortefías y que coincide con el acusado descenso del enfriamiento del Mioceno medio (Flower y Kennett, 1993).

Daams *et al.* (1999c) realizan un estudio en el que, en vez de inferir condiciones climáticas sobre la base de las asociaciones de roedores, tratan de relacionar los posibles factores climáticos que explican las variaciones en una serie de descriptores ecológicos de dichas asociaciones, como son la riqueza de especies, diversidad y equitabilidad. En este estudio Daams *et al.* (1999c) proponen la existencia de una relación entre la humedad relativa y la equitabilidad, concluyendo una correlación negativa entre estos dos factores desde el final de la MN3 hasta la MN6, mientras que la correlación es positiva durante la MN6 y en adelante. Este hecho puede ser explicado partiendo de la base de que las comunidades más antiguas se encontraban adaptadas a condiciones áridas, y que por tanto los episodios de mayor humedad, los cuales vienen marcados por la inmigración de especies adaptadas a ambientes más forestales provenientes del norte, representarían perturbaciones que afectaron a la estructura de la comunidad disminuyendo su equitabilidad. A partir de un punto se produce un cambio en las comunidades pasando a estar constituidas principalmente por especies de origen nortefío que se establecen (semi)permanentemente en el área de estudio. A partir de ese momento son los periodos de mayor aridez los que actúan como perturbaciones. Los Castoridae reaparecen en el registro del área de Daroca-Villafeliche hacia el final del Aragoniense, después de alrededor de siete millones de años de ausencia en el registro, indicando la vuelta a condiciones ambientales caracterizadas por corrientes de agua permanentes.

Vallesense-Turolense

Los resultados obtenidos por Dam y Weltje (1999) en el área de Teruel mediante la modelización de miembros extremos (*end-member*) indican la existencia de periodos relativamente más húmedos y fríos entre 10,5 y 8,5 Ma, alrededor de los 7,5 Ma y hacia los 6 Ma (Fig. 9B). Por el contrario, antes de los 10,5 Ma, entre 8,5 y 7,5 Ma y alrededor de los 6,5 Ma las condiciones fueron más áridas y cálidas. Superpuesto a este patrón, existe un cambio desde un clima más predecible y con estacionalidad frío-cálido hacia un clima más imprede-

cible con estacionalidad arido-húmedo entre los 9,4 y los 8,2 Ma.

La comparación con los resultados obtenidos para otras partes de Europa muestra que, durante el Mioceno superior, el clima en el sur de Europa fue más seco, cálido, más estacional, en el sentido húmedo-seco, y más impredecible que en Europa central, siendo acusados los límites climáticos y de tipos de vegetación entre estas dos áreas. El desarrollo de episodios más húmedos y fríos en España durante el Mioceno superior podrían ser explicados por la migración hacia el sur del límite entre los cinturones climáticos templado y subtropical-seco y los tipos de vegetación asociados con ellos (Dam y Weltje, 1999).

Evidencias del registro sedimentario

Las curvas de evolución paleoclimática a lo largo del Mioceno, deducidas a partir de las asociaciones de faunas de micromamíferos, deberían mostrar una correlación con las evidencias de carácter paleoambiental extraíbles del registro sedimentario a través del análisis sedimentológico de éste. Para el área estudiada, dicha correlación no siempre es ajustada, observándose bastantes discrepancias entre lo que cabe concluir a partir de la naturaleza de los depósitos y lo indicado por las curvas paleoclimáticas en, al menos, algunos intervalos de tiempo. Estas discrepancias son, a nuestro entender, debidas a la compleja interrelación de factores (clima, tectónica, área fuente, etc.) que controlaron la sedimentación durante el Mioceno en las dos cuencas estudiadas. De entre estos factores, que en ocasiones condicionan de forma local la formación de determinadas facies, cabe resaltar los siguientes:

- la naturaleza del área fuente, que a su vez puede sufrir modificaciones en función de ajustes tectónicos a lo largo de la evolución de una cuenca. Esta situación es patente cuando se observa el cambio drástico en la vertical de unidades predominantemente carbonatadas a depósitos evaporíticos en la parte norte de la Cuenca de Teruel, hecho explicado por Alonso-Zarza y Calvo (2000) como resultado del ascenso diapírico de formaciones triásicas en el borde oriental de esta cuenca durante el Turoliense medio. Las indicaciones paleoclimáticas deducibles de las curvas (Fig. 9B) no muestran diferencias sensibles entre el Turoliense inferior y el Turoliense superior. El contraste de facies debe ser explicado en este caso por el cambio en el factor 'área fuente' independientemente de la persistencia de las mismas condiciones climáticas.

- la coincidencia en el tiempo de ambientes con régimen de sedimentación distinto reflejando, según su posición y ubicación morfológica en la cuenca, variaciones importantes en el balance hidrológico. Es el caso del depósito de la Unidad de Las Umbrías, en la sección tipo del Aragoniense (zona Dd), que se interpreta como propio de un sistema de lagos de agua dulce y zonas

pantanosas (Daams *et al.*, 1999a) en posiciones marginales de la Cuenca de Calatayud-Daroca, coincidiendo con el depósito de facies evaporíticas en partes centrales de esta cuenca. En este caso particular se constata una discrepancia entre las evidencias paleoclimáticas (máximo de temperatura y mínimo de humedad; Fig. 9A) obtenidas a partir de las faunas de micromamíferos con lo deducible de las facies presentes en un sector marginal de la cuenca, aunque sí estarían en consonancia con el registro sedimentario depositado en gran parte de dicha cuenca.

La conclusión que se deriva de estos comentarios es la dificultad de establecer una comparación ajustada entre las inferencias paleoclimáticas deducibles del análisis de los registros faunísticos y sedimentarios para las cuencas estudiadas, al menos con el nivel de resolución abordado hasta el momento. Siguiendo otra línea de evidencia, el análisis del registro sedimentario de la Cuenca de Calatayud-Daroca (Sanz Rubio, 1999) muestra una superposición desde unidades esencialmente evaporíticas acumuladas durante el Mioceno inferior a unidades de carácter mixto evaporítico-carbonatado, de edad fundamentalmente Mioceno medio, y unidades netamente carbonatadas, con depósito de tobas, y terrígenas durante el Mioceno superior (Fig. 2A). Esta disposición estratigráfica sugiere un progresivo endulzamiento de los sistemas hidrológicos que, *grosso modo*, puede ser indicativo del paso desde condiciones cálidas y secas a condiciones climáticas más húmedas y frías en los periodos últimos del Mioceno en la región. Este patrón evolutivo general contrasta claramente con el mostrado por las curvas paleoclimáticas deducidas a partir de las faunas de micromamíferos, tanto en las tendencias observadas como en el nivel de resolución que se obtiene en estas últimas. Es de señalar, no obstante, que la presencia de facies netamente indicativas de aguas dulces y típicas de climas templados, como son las tobas calcáreas (Pedley, 1990), en el Mioceno superior dentro de la sucesión descrita coincide con el cambio del régimen de depósito bajo condiciones de cuenca hidrológicamente cerrada a abierta durante este periodo. Una posible vía de solución a este problema se encuentra, además de en lograr un mejor ajuste entre los niveles de resolución aportados por ambos tipos de análisis del registro estratigráfico mioceno, en la realización, allí donde sea posible, de estudios cicloestratigráficos de detalle que pueden marcar las pautas de evolución paleoclimática para intervalos temporales definidos. Un trabajo de este tipo está actualmente en marcha a partir de una sucesión cíclica de depósitos lacustres que cubre el tránsito Aragoniense superior-Valliesiense inferior (12,8 a 10,7 Ma) (sección de Orera), la cual se sitúa en la parte NE de la Cuenca de Calatayud-Daroca. En este intervalo temporal se han reconocido 91 ciclos de escala menor (unos 21.000 años) y cinco ciclos mayores (400.000 años) (Abdul Aziz *et al.*, 2000), apreciándose a partir de estos últimos una tendencia desde condiciones climáticas más húmedas y posiblemente frías hacia más cálidas y secas. La previs-

ta ampliación de este tipo de análisis a otros intervalos temporales dentro del registro mioceno de las cuencas de Calatayud-Daroca y Teruel será un nuevo elemento valioso para la resolución de las incertidumbres creídas sobre la evolución paleoclimática y paleoambiental de la región.

Los autores quieren expresar su más cariñoso recuerdo a Remmert Daams y a Manuel Hoyos, quienes contribuyeron de forma decisiva en los últimos años al progreso de las investigaciones bioestratigráficas y sedimentológicas en las áreas que son objeto de este artículo. Las detalladas revisiones del manuscrito llevadas a cabo por los Drs Plinio Montoya y Pere Anadón han contribuido a una sustancial mejora de éste. Asimismo mostramos nuestro agradecimiento a todas aquellas personas que han intervenido en las sucesivas campañas y estudios llevados a cabo en los últimos años, posibilitando el amplísimo volumen de datos en los cuales se apoya la presente síntesis. Este trabajo se ha beneficiado de la ayuda económica aportada por diversas instituciones a través de varios proyectos (Proyectos DGICYT PB92-0013 y PB95-0114, Proyectos DGEIC PB98-0691 y PB98-0503, y los proyectos 10/91, 02/92, 040/93, 064/94, 107/95, 026/96, 22/97, 133/98 y 142/99 del Departamento de Educación y Cultura del Gobierno de Aragón y a la Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel).

Bibliografía

- Abdul Aziz, H., Hilgen, F.J., Krijgsman, W., Sanz-Rubio, E. y Calvo, J.P. (2000): Astronomical forcing of sedimentary cycles in the Miocene continental Calatayud Basin (NE Spain). *Earth Planet. Sci. Letters*, 177: 9-22.
- Adrover, R. (1986): *Nuevas faunas de roedores en el Mioceno continental de la región de Teruel (España). Interés bioestratigráfico y paleoecológico*. Inst. Estudios Turolenses, Teruel, 423 p.
- Adrover, R., Mein, P. y Moissenet, E. (1976): Mise en évidence du Pliocène Moyen Continental dans le nord du Fossé de Teruel (Espagne): le gisement de Villalba Alta. *Nouv. Arch. Mus. Hist. Nat. Lyon*, 14: 11-14.
- Adrover, R., Mein, P. y Moissenet, E. (1978): Nuevos datos sobre la edad de las formaciones continentales neógenas de los alrededores de Teruel. *Estudios Geol.*, 34: 205-214.
- Adrover, R., Mein, P. y Moissenet, E. (1988): Contribución al conocimiento de la fauna de roedores del Plioceno de la región de Teruel. *Teruel*, 79, 1: 89-151.
- Aguirre, E., Alberdi, M.T. y Pérez González, A. (1975): «Turolian». En: *Stratotypes of Mediterranean Neogene Stages* (F.F. Steininger y L.A. Nevesskaya, Eds). *Publ. Slovak Acad. Sci.*, Bratislava, 2: 149-152.
- Alcalá, L. (1994): *Macromamíferos neógenos de la fosa de Alframbra-Teruel*. Inst. Estudios Turolenses - Mus. Nac. C. Naturales (CSIC), Teruel, 554 p.
- Alcalá, L., Alonso Zarza, A.M., Anadón, P., Calvo, J.P., Ortí, F., Rosell, L. y van Dam, J.A. (1997): Neógeno de la Fosa de Teruel. En: *Itinerarios Geológicos en el Terciario del Centro y Este de la Península Ibérica* (L. Alcalá y A.M. Alonso Zarza, Eds). Museo Nac. C. Nat. - Univ. Compl. Madrid, Madrid, 7-41.
- Alonso-Zarza, A.M. y Calvo, J.P. (2000): Palustrine sedimentation in an episodically subsiding basin: the Miocene of the northern Teruel Graben. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 160: 1-21.
- Anadón, P. y Cabrera, L. (Eds) (1989): *Sistemas Lacustres Cenozoicos de España*. *Acta Geol. Hispánica*, 24 (3-4): 165-319.
- Anadón, P. y Moissenet, E. (1996): Neogene basins in the Eastern Iberian Range. En: *Tertiary basins of Spain. The stratigraphic record of crustal kinematics*. World and Regional Geology 6, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 68-76.
- Anadón, P., Moissenet, E. y Simón, J.L. (1990): The Neogene grabens of the eastern Iberian Chain. En: *Iberian Neogene Basins* (J. Agustí et al., Coords). *Paleont. Evol. Mem. Esp.*, 2: 97-130.
- Biju Duval, B. y Montadert, L. (1977): Introduction to the structural history of the Mediterranean basins. En: *Structural History of the Mediterranean basins* (B. Biju Duval y L. Montadert, Eds). Ed. Technip, Paris, 1-12.
- Bruijn, H de (1967): Gliroidae, Sciridae y Eomyidae (Rodentia, Mammalia) miocenos de Calatayud (Zaragoza, España) y su relación con la bioestratigrafía del área. *Bol. Inst. Geol. Min. España*, 78: 187 p.
- Bruijn, H. de, Daams, R., Daxner-Höck, G., Fahlbusch, V., Ginsburg, L., Mein, P. y Morales, J. (1992): Report of the RCMNS working group on fossil mammals, Reisenburg 1990. *Newsl. Stratigr.*, 26 (2/3): 65-118.
- Busson, G. y Schreiber, B.Ch. (Eds) (1997): *Sedimentary Deposition in Rift and Foreland Basins in France and Spain (Paleogene and Lower Neogene)*. Columbia Univ. Press, New York, 479 p.
- Calvo, J.P., Daams, R., Morales, J., López-Martínez, N., Agustí, J., Anadón, P., Armenteros, I., Cabrera, L., Civis, J., Corrochano, A., Díaz-Molina, M., Elizaga, E., Hoyos, M., Martín-Suárez, E., Martínez, J., Moissenet, E., Muñoz, A., Pérez-García, A., Pérez-González, A., Portero, J.M., Robles, F., Santisteban, C., Torres, T., van der Meulen, A.J., Vera, J.A. y Mein, P. (1993): Up-to-date Spanish continental Neogene synthesis and paleoclimatic interpretation. *Rev. Soc. Geol. España*, 6: 29-40.
- Cande, S.C. y Kent, D.V. (1995): Revised calibration of the geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Jour. Geophys. Res.*, 100: 6093-6095.
- Canudo, J.I. y Cuenca, G. (1989): Nota preliminar de un nuevo yacimiento vallesiense en la Fosa de Calatayud-Montalbán. *Segundo Encuentro de Estudios Bilbilitanos*. Centro de Estudios Bilbilitanos, Institución Fernando el Católico, Fundación Pública de La Excmá Diputación de Zaragoza: 157-160.
- Colomer, M. y Santanach, P. (1988): Estructura y evolución del borde sur-occidental de la Fosa de Calatayud-Daroca. *Geogaceta*, 4: 29-32.
- Crusafont, M. (1965): Observations à un travail de M. Freudenthal et P.Y. Sondaar sur des nouveaux gisements à Hipparion d'Espagne. *Proc. Kon. Nederl. Akad.*, B, 68 (3): 121-126.
- Daams, R., Alcalá, L., Alvarez Sierra, M.A., Azanza, B., van Dam, J.A., Meulen, A.J. van der, Morales, J., Nieto, M., Peláez-Campomanes, P. y Soria, D. (1998): A stratigraphical framework for Miocene (MN4-MN13) continental sediments of Central Spain. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 327: 625-631.
- Daams, R. y Freudenthal, M. (1981): Aragonian: the Stage concept versus Neogene Mammal Zones. *Scripta Geol.*, 62: 1-17.
- Daams, R., Freudenthal, M. y Alvarez Sierra, M.A. (1987): Ramblian, a new Stage for continental deposits of Early Miocene age. *Geol. Mijnbouw*, 65: 297-308.

- Daams, R., Freudenthal, M. y Meulen, A.J. van der (1988): Ecostratigraphy of micromammal faunas from the Neogene of Spain. En: *Biostratigraphy and paleoecology of the Neogene micromammalian faunas from the Calatayud-Teruel Basin (Spain)* (M. Freudenthal, Ed.). *Scripta Geologica*, Spec. Issue 1: 287-302.
- Daams, R., Freudenthal, M. y Weerd, A. van de (1977): Aragonian, a new Stage for continental deposits of Miocene age. *Newsl. Stratigr.*, 6 (1): 42-55.
- Daams, R. y Meulen, A.J. van der (1984): Paleoenvironmental and paleoclimatic interpretation of micromammal faunal successions in the Upper Oligocene and Miocene of north central Spain. *Paléobiol. Cont.*, 14: 241-257.
- Daams, R., Meulen, A.J. van der, Alvarez Sierra, M.A., Peláez-Campomanes, P., Calvo, J.P., Alonso Zarza, A.M. y Krijgsman, W. (1999a): Stratigraphy and sedimentology of the Aragonian (Early to Middle Miocene) in its type area (North-Central Spain). *Newsl. Stratigr.*, 37 (3): 103-139.
- Daams, R., Meulen, A.J. van der, Alvarez Sierra, M.A., Peláez-Campomanes y Krijgsman, W. (1999b): Aragonian stratigraphy reconsidered, and a re-evaluation of the middle Miocene mammal biochronology in Europe. *Earth Planet. Sci. Letters*, 165: 287-294.
- Daams, R., Meulen, A.J. van der, Peláez-Campomanes, P. y Alvarez-Sierra, M.A. (1999c): Trends in rodent assemblages from the Aragonian (early-middle Miocene) of the Calatayud-Daroca Basin, Aragon, Spain. En: *Hominoid Evolution and climatic change in Europe, vol. 1. The evolution of Neogene Terrestrial Ecosystems in Europe* (Agustí, J., Rook, L. y Andrews, P., Eds), 127-139.
- Dam, J.A. van (1997): *The small mammals from the Upper Miocene of the Teruel-Alfambra region (Spain): paleobiology and paleoclimatic reconstructions*. *Geologica Ultraiectina*, 156: 204 p.
- Dam, J.A. van y Weljete, G.J. (1999): Reconstruction of the Late Miocene climate of Spain using rodent palaeocommunity successions: an application of end-member modelling. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 151: 267-305.
- Dijksman, A.A. (1977): *Geomagnetic reversals as recorded in the Miocene Red Beds of the Calatayud-Teruel Basin (Central Spain)*. Tesis Doctoral, Universidad de Utrecht, 156 p.
- Fefjar, O., Mein, P. y Moissenet, E. (1990): Early arvicolids from the Ruscinian (Early Pliocene) of the Teruel Basin, Spain. *Int. Symp. Evol. Phyl. Biostr. Arvicolids, Praga*, 133-164.
- Ferreiro, E. y Ruiz, V. (1991): *Memoria y Mapa geológico 1/200.000, Daroca (Hoja nº 40)*. Inst. Tecnol. Geomin. España, Madrid.
- Flower, B.P. y Kennett, J.P. (1993): Middle Miocene ocean-climate transition: High-resolution Oxygen and Carbon isotopic records from Deep Sea Drilling Project site 588A, southwest Pacific. *Paleoceanography*, 8: 811-843.
- Friend, P.F. y Dabrio, C. (Eds) (1996): *Tertiary basins of Spain. The stratigraphic record of crustal kinematics*. World and Regional Geology 6, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 400 p.
- Garcés, M., Agustí, J., Cabrera, L., Parés, J.M. (1996a): Magnetostratigraphy of the Vallesian (late Miocene) in the Vallès-Penedès Basin (northeast Spain). *Earth Planet. Sci. Letters*, 142: 381-396.
- Garcés, M., Agustí, J. y Parés, J.M. (1996b): Magnetocronología del Plioceno superior continental de la Cuenca de Guadix-Baza (Cordilleras Béticas). *Geogaceta*, 20 (5): 1033-1036.
- Garcés, M., Krijgsman, W., van Dam, J.A., Calvo, J.P., Alcalá, L. y Alonso-Zarza, A.M. (1997): Late Miocene alluvial sediments from the Teruel area: Magnetostratigraphy, magnética susceptibilidad, and facies organization. *Acta Geol. Hispánica*, 32: 171-184.
- Garcés, M., Krijgsman, W. y Agustí, J. (1998): Chronology of the late Turolian deposits of the Fortuna basin (SE Spain): implications for the Messinian evolution of the eastern Betics. *Earth Planet. Sci. Letters*, 163: 69-81.
- Gautier, F., Moissenet, E. y Viallard, P. (1972): Contribution à l'étude stratigraphique et tectonique du fossé néogène de Teruel (Chaînes Ibériques, Espagne). *Bull. Mus. Nat. d'Hist. Natur.*, 3^e, 77, Sci. Terre, 16: 179-208.
- Guimerà, J. (1996): Cenozoic evolution of eastern Iberia: Structural data and dynamic model. *Acta Geol. Hispánica*, 29: 57-66.
- Hernández, A., Olmo, P. de y Aragonés, E. (1983): Mapa Geológico de España E.1:50000, Hoja nº 437 (Ateca). Memoria explicativa por Olivé, A. et al. *Inst. Geol. Min. España*, Madrid, 67 p.
- Hernández, A., Olivé, A., Moissenet, E., Pardo, G. y Villena, J. (1983): Mapa Geológico de España E.1:50000, Hoja nº 491 (Calamocha). Memoria explicativa por Olivé, A. et al. *Inst. Geol. Min. España*, Madrid, 73 p.
- Julivert, M. (1954): Observaciones sobre la tectónica de la Depresión de Calatayud. *Arrahona*, 3-18.
- Krijgsman, W. (1996): *Miocene magnetostratigraphy and cyclostratigraphy in the Mediterranean: extension of the astronomical polarity time scale*. *Geologica Ultraiectina*, 141: 207 p.
- Krijgsman, W., Langereis, C.G., Daams, R. y Meulen, A.J. van der (1994): Magnetostratigraphic dating of the middle Miocene climate change in the continental deposits of the Aragonian type area in the Calatayud-Teruel Basin (Central Spain). *Earth Planet. Sci. Letters*, 128: 513-526.
- Krijgsman, W., Garcés, M., Langereis, C.G., Daams, R., Dam, J.A. van, Meulen, A.J. van der, Agustí, J. y Cabrera, L. (1996): A new chronology for the middle to late Miocene continental record in Spain. *Earth Planet. Sci. Letters*, 142: 367-380.
- López-Martínez, N., Agustí, J., Cabrera, L., Calvo, J.P., Civis, J., Corrochano, A., Daams, R., Díaz, M., Elizaga, E., Hoyos, M., Martínez, J., Morales, J., Portero, J.M., Robles, F., Santisteban, C. y Torres, T. (1987): Approach to the Spanish continental Neogene synthesis and paleoclimatic interpretation. *Ann. Inst. Geol. Publ. Hungary*, 70: 383-391.
- Marín, A.A. (1932): Sondeos de investigación de sales potásicas. *Boletín de Sondeos* nº3, 1er fasc., Madrid.
- Mein, P. (1990): Updating of MN Zones. En: *European Neogene Mammal Chronology* (E.H. Lindsay, V. Fahlbusch y P. Mein, Eds). Plenum Press, New York, 73-90.
- Mein, P., Moissenet, E. y Adrover, R. (1983): L'extension et l'âge des formations continentales pliocènes du fossé de Teruel (Espagne). *C.R. Acad. Sci Paris*, 296: 1603-1610.
- Mein, P., Moissenet, E. y Adrover, R. (1990): Biostratigraphie du Néogène supérieur du Bassin de Teruel. *Paleont. Evol.*, 23: 121-139.
- Meulen, A.J. van der y Daams, R. (1992): Evolution of Early-Middle Miocene rodent faunas in relation to long-term palaeoenvironmental changes. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 93: 227-253.
- Moissenet, E. (1983). Aspectos de la neotectónica en la Fosa de Teruel. En: *Geología de España, Libro Hom. J.M. Ríos*, T. II, IGME, Madrid, 81-102.

- Moissenet, E., Lindsay, E., Mein, P., Opdyke, N. y Pérez González, A. (1990): The Alfambrian: a new continental stage for the Pliocene formations of Teruel Basin. Biostratigraphy, magnetostratigraphy, referenced sections. *IX Congress R.C.M.N.S., Barcelona, Abstracts*, 245-246.
- Olivé, A., Olmo, P. del y Portero, J.M. (1983): Mapa Geológico de España E.1:50000, Hoja nº 438 (Paniza). Memoria explicativa por P. del Olmo y A. Olivé. *Inst. Geol. Min. España*, Madrid, 80 p.
- Opdyke, N., Mein, P., Lindsay, E., Pérez-González, A., Moissenet, E. y Norton, V.L. (1997): Continental deposits, magnetostratigraphy and vertebrate paleontology, late Neogene of Eastern Spain. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 133: 129-148.
- Pedley, H.M. (1990): Classification and environmental models of cool freshwater tufas. *Sediment. Geol.*, 68: 143-154.
- Riba, O. y Pérez González, A. (Coords) (1983): Evolución geológica postalpina y neotectónica. En: *Geología de España, Libro Hom. J.M. Ríos*, IGME, Madrid, Tema IV, t. II: 413-585.
- Sanz Rubio, E. (1999): *Análisis de los sistemas deposicionales carbonáticos y evaporíticos del Neógeno de la Cuenca de Calatayud (provincia de Zaragoza)*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense, Madrid, 579 p. (inédita)
- Sanz, M.E., Alonso-Zarza, A.M. y Calvo, J.P. (1995): Carbonate pond deposits related to semi-arid alluvial systems: examples from the Tertiary Madrid Basin. *Sedimentology*, 42: 437-452.
- Schlosser, M. (1907): Ueber Säugetiere und Süßwassergastropoden aus Pliocänablagerungen Spaniens und über die Natürliche Grenze von Miocän und Pliocän. *N. Jb. Mineral. Geol. Palaont.*, 2: 1-41.
- Simón, J.L. (1984): *Compresión y distensión alpinas en la Cadena Ibérica oriental*. *Inst. Est. Turolenses*, 269 p.
- Smith Woodward, A. (1903): The Lower Pliocene Bone-Bed of Concu. Province of Teruel, Spain. *Geol. Mag.*, 10: 203-207.
- Srivastava, S.P., Schouten, H., Roest, W.R., Klitgord, K.D., Kovacs, L.C., Verhoef, J. y Macnab, R. (1990): Iberian plate kinematics: a jumping plate boundary between Eurasia and Africa. *Nature*, 344: 756-759.
- Weerd, A. van de (1976): Rodent faunas of the Mio-Pliocene continental sediments of the Teruel-Alfambra region, Spain. *Utrecht Micropal. Bull. Spec. Publ.*, 2: 1-217.
- Weerd, A. van de y Daams, R. (1978): Quantitative composition of rodent faunas in the Spanish Neogene and paleoecological implications. *Proc. K. Ned. Akad. Wet. B.*, 81: 448-473.
- Wolfe, J.A. (1985): Distribution of major vegetational types during the Tertiary. En: *The Carbon Cycle and Atmospheric CO₂: Natural variations, Archean to Present* (Sundquist, E.T. y Broecker, W.S., Eds). *Geophys. Monogr.*, 32: 357-375.

Manuscrito recibido el 13 de Abril de 2000

Aceptado el manuscrito revisado el 25 de Junio de 2000