

Palabras clave: Foraminíferos planctónicos, Paleoceno, Eoceno, Oligoceno, cronoestratigrafía.

INTRODUCCIÓN

El estudio taxonómico de los foraminíferos planctónicos desde el Cretácico Superior (Maastrichtiense) al Mioceno Medio (Langhiense) ha permitido establecer una biozonación aplicable a las zonas subtropicales y templadas, ya que los cortes y sondeos estudiados se distribuyen por estas latitudes. Así mismo el estudio taxonómico de los microforaminíferos bentónicos del tránsito Paleoceno-Eoceno ha posibilitado la biozonación con este grupo y el estudio exhaustivo del evento paleoceanográfico del límite Paleoceno/Eoceno. Otros eventos tales como los asociados a los límites Oligoceno/Mioceno, Eoceno/Oligoceno y Cretácico/Terciario también han sido estudiados en detalle, tratando de determinar la cronología de las extinciones y apariciones, y evaluando su potencial interés como estratotipos de límite.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los cortes estudiados se localizan en diversas partes del mundo. En España, tanto en las Béticas: Agost, Alamedilla, Alcalá la Real, Andrade, Aspe, Barranco Blanco, Caravaca, Delgadillo, El Navazuelo, Estepa, Fuente Caldera, Guadahortuna, Molino de Cobo, Torre Cardela, Viñuela; como en el Pirineo: Anoz, Arguis, Artieda, Berdún, Biezcas, Boltaña, Campo, Domeño, Iriso, Jaca, La Peña, Musquiz, Tremp, Osinaga, Yebra de Basa, Zumaya. En Italia: Case Cocuzza, Colle Castellano, Costa dell' Angelo, Massignano, Viso. En Bélgica: Ieper, Knokke. En Francia: Oràas. En Túnez: Kalaat Senan. En el Océano Atlántico: DSDP 94, 116, 363, 366, 401, 402, 612. En el Océano Índico: DSDP 214, 216, 216, 219, 223, 242, 253. En el Océano Pacífico: DSDP 277, 292, 462.

Los muestreos se han realizado a escala métrica excepto en los tramos donde se localizan los eventos más interesantes que se han muestreado en intervalos que varían entre 10 y 20 cm. Las muestras se han disgregado con agua y se han levigado, estudiando la fracción mayor de 150 µm, 100 µm o 63 µm según el tamaño de los foraminíferos en cada corte.

SÍNTESIS

El resumen en 4 páginas de los resultados de la investigación de nuestro equipo en los últimos 20 años es muy difícil, por este motivo se ha optado por sintetizar en una figura los datos más relevantes, y adjuntar una lista bibliográfica de las principales publicaciones del equipo sobre este tema. En la publicación definitiva de esta síntesis. En la Revista Española de Paleontología, se hará una exposición más detallada.

Las investigaciones bioestratigráficas se iniciaron con la tesis doctoral del primer autor sobre el Oligoceno y

Mioceno Inferior del sector central de las Béticas, proponiendo una nueva biozonación (Molina, 1979; 1980). Aparte del objetivo básico del estudio taxonómico de los foraminíferos planctónicos se abordó el estudio cronoestratigráfico del límite Oligoceno/Mioceno (González Donoso y Molina, 1977-78; 1979; Baldi Beke *et al.*, 1983). Así mismo se abordaron una serie de problemas relativos a la cronología de la estructuración de las Cordilleras Béticas (González Donoso *et al.*, 1981; 1982; 1983; 1988).

El evento del límite Eoceno/Oligoceno fue estudiado por primera vez en el corte de Torre Cardela (Martínez Gallego y Molina, 1975) y en el Corte de Fuente Caldera (Comas *et al.*, 1984-85). Estos cortes resultaron de gran interés y, junto con el de Molino de Cobo (Molina *et al.*, 1988) fueron propuestos para definir en uno de ellos el estratotipo del límite Eoceno/Oligoceno (Molina, 1986a). Se proponía el nivel de extinción de los últimos hantkeninidos y se puso de manifiesto que la extinción de las formas típicas del Eoceno era gradual. El estratotipo de límite fue también estudiado en Italia (Molina *et al.*, 1986) y finalmente definido en el corte de Massignano (Gonzalvo y Molina, 1992a; 1992b). Este evento ha sido estudiado en detalle y a escala mundial (Keller, *et al.*, 1987; Canudo *et al.*, 1988, Molina *et al.*, 1992; 1993, Gonzalvo, 1994) y se ha puesto de manifiesto que no existe relación causa efecto entre los niveles de impacto meteorítico y las extinciones, las cuales son atribuidas al descenso de la temperatura.

El Paleógeno ha sido objeto de una serie de estudios sobre diversos aspectos (Molina, 1986b; 1986c, 1990, Molina *et al.*, 1988, Canudo 1990; 94, Canudo y Molina, 1988; 1992b, Canudo *et al.*, 1991; 1993, Arenillas *et al.*, 1993, Gonzalvo *et al.*, 1994) y ha sido el evento del límite Paleoceno/Eoceno el estudiado más en detalle. En este sentido, el piso Ilerdiense definido en el Pirineo, ha sido objeto de estudios de estratigrafía integrada y cronoestratigrafía (Canudo *et al.*, 1989, Molina *et al.*, 1992), correlacionándolo con el estratotipo del Ypresiense en Bélgica (Pardo *et al.*, 1994). Sin embargo, han sido los cortes de Zumaya y Caravaca los que han permitido precisar la naturaleza de este evento (Canudo y Molina, 1992a; 1993; 1994, Ortiz, 1993, Molina 1994, Molina *et al.* 1994), observándose una extinción masiva de los microforaminíferos bentónicos batiales y abisales, que se corresponde con cambios cuantitativos en las asociaciones de los foraminíferos planctónicos. Estos cambios fueron causados por el aumento de la temperatura de las aguas profundas, probablemente asociado al efecto invernadero producido por un aumento de la actividad volcánica en las dorsales. Este mecanismo dio lugar a un nivel anóxico que proponemos utilizar para definir el estratotipo de límite en el corte de Zumaya.

| CRET | PALEOCENO | | | | EOCENO | | | | | OLIGOCENO | | | | MIOCENO | | | | EPOCA |
|------------|---|---|-------------|---|--|---|--------------|--|--|---|---|--|---------------------------------|-----------------------------|-------------|--|--|-------|
| MAAS-TRICH | DANIENSE | SELANDIENS. | THANETIENS. | YPRESIENSE | LUTECIENSE | BARTONIENSE | PRIABONIENSE | | | RUPELIENSE | CHA-TIENSE | IAQUITANIENSE | BURDIGALIENSE | LANGHIENSE | EDAD | | | |
| | A. mayaroensis G. gansseri | G. cretacea P. eugubina S. pseudobulloides P. trinidadensis P. uncinata M. angulata I. albeari P. pseudomenardii | | M. formosa M. aragonensis A. pentacamerata M. caucasica M. wilcoxensis M. aequa | T. praetopilensis S. frontosa M. caucasica Maragonensis P. wilcoxensis M. aequa | I. broedermanni A. dumblei M. lehneri O. beckmanni A. bullbrooki T. rohri D. eocaena P. semiinvoluta G. index C. inflata T. cocoaensis C. lazzarii | | | | P. increbescens G. tapuriensis C. chipolensis P. barbadiensis G. angiporoides G. ampliapertura G. opima | G. angulisuturalis G. primordius G. semivera G. trilobus | G. subquadratus G. altiapertura C. stainforthi G. sicanus | P. transitoria P. circularis | | BIOZONACION | | | |
| | G. insignis G. wiedmayeri G. gansseri C. contusa R. scotti A. mayaroensis P. eugubina E. fringa E. trivialis S. triloculinoides P. pseudobulloides E. edita P. inconstans G. compressa A. trinidadensis G. arca G. fareedi G. stuarti G. gubleri G. aegyptiaca G. stuartiformis V. multicamerata R. reicheli G. petaloidea P. palpebra R. powelli R. fructicosa P. carseyae P. elegans R. rugosa R. hexacamerata H. holmdelensis G. yaucoensis G. prairiehillensis P. kempensis H. navarroensis P. costulata H. globulosa G. cretacea G. trifolia W. claytonensis | M. aragonensis A. pentacamerata M. caucasica M. wilcoxensis M. aequa P. quadrilocula G. chapmani A. uncinata M. angulata I. pusilla S. velascoensis M. aequa I. albeari M. velascoensis G. ovalis M. mckannai M. occlusa P. pseudomenardii A. wilcoxensis M. edgari M. soldadoensis M. subbotinae M. marginodentata P. wilcoxensis G. ouachitensis G. suteri C. unicavus D. tripartita D. venezuelana | | M. formosa M. caucasica C. taroubaensis A. nutalli I. broedermanni P. griffinae A. primitiva S. inaequispira H. mexicana C. dissimilis S. frontosa G. carcosellensis C. chipolensis O. beckmanni A. dumblei T. topilensis M. lehneri A. bullbrooki T. cerroazulensis A. spinuloinflata M. spinulosa T. rohri G. subconglobata A. rotundimarginata P. mexicana P. semiinvoluta S. hagni T. pomeroli G. luterbacheri G. index C. inflata T. cocoaensis T. cunialensis H. alabamensis H. brevispina C. lazzarii P. micra | | | | | D. eocaena S. linaperta S. cubensis S. angiporoides G. praebulloides D. galavisi P. barbadiensis P. increbescens G. ampliapertura P. nana G. tapuriensis G. sellii G. opima G. siakensis G. obesa G. angulisuturalis P. navazuelensis G. pseudocontinua G. binaiensis G. primordius G. incrusta G. kugleri G. dehiscens G. uvula G. woodi G. semivera C. stainforthi G. trilobus G. acrostoma G. altiapertura G. peripheroronda G. altispira G. subquadratus G. praescitula S. seminulina C. falconensis C. sicanus P. transitoria P. curva P. glomerata P. circularis | | | | | ESPECIES MAS SIGNIFICATIVAS | | | | |

Finalmente, las investigaciones se han centrado en el límite Cretácico/Terciario, estudiando los cortes de Agost, Caravaca, Osinaga y Zumaya (Canudo *et al.*, 1991, Canudo y Molina, 1992a, Arz *et al.*, 1992). En estos cortes -que se cuentan entre los más completos a nivel mundial- se ha podido observar que el evento de impacto meteorítico coincide con la extinción de las formas más grandes y especializadas, mientras que ciertas formas pequeñas y oportunistas sobrevivieron al evento y se extinguieron en la base del Paleoceno. El evento de este límite ha resultado ser más complejo de lo inicialmente propuesto por los partidarios de la teoría impactista y todavía quedan una serie de cuestiones polémicas por resolver. En este sentido continúan nuestras investigaciones, tratando de determinar si se produjeron cambios significativos en las asociaciones de foraminíferos planctónicos durante el Maastrichtense Superior.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todos aquellos investigadores con los que hemos publicado trabajos conjuntos desde 1975, ya que de alguna forma han contribuido a la realización de esta síntesis, especialmente José M. González Donoso y Gerta Keller. Este trabajo ha sido subvencionado por la DGICYT proyecto PB91-0172.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arenillas, I., Canudo, J.I. y Molina, E. 1993. Correlación entre la magnetoestratigrafía y la bioestratigrafía con foraminíferos planctónicos del Paleoceno Inferior en Agost (Béticas) y Zumaya (Pirineos). *Actas IX Jornadas de Paleontología*, 1-6.
- Arz, J.A., Canudo, J.I. y Molina, E. 1992. Estudio comparativo del Maastrichtense de Zumaya (Pirineos) y Agost (Béticas) basado en el análisis cuantitativo de los foraminíferos planctónicos. *Actas III Congreso Geológico de España*, 1, 487-491.
- Baldi Beke, M. *et al.* (entre ellos Molina, E.). Potential boundary stratotype sections in Italy and Spain. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 89, (4), 456-556.
- Canudo, J.I. 1990. *Los foraminíferos planctónicos del Paleoceno-Eoceno en el Prepirineo meridional y su comparación con la Cordillera Bética*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza. 1-436.
- Canudo, J.I. 1994. Luterbacheria, un nuevo género de foraminífero planctónico (protozoa) del Paleoceno-Eoceno y sus relaciones filogenéticas. *Revista Española de Paleontología*, 25, en prensa.
- Canudo, J.I. y Molina, E. 1988. Biocronología con foraminíferos planctónicos de la secuencia deposicional de Jaca (Pirineo aragonés): Eoceno medio y superior. *Actas II Congreso Geológico de España*, 1, 273-276.
- Canudo, J. I. y Molina, E. 1992a. Planktic foraminiferal faunal turnover and Biochronostratigraphy of the Paleocene-Eocene boundary at Zumaya, northern Spain. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 5, 145-157.
- Canudo, J.I. y Molina, E. 1992b. Bioestratigrafía con foraminíferos planctónicos del Paleógeno del Pirineo. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 186, 97-135.
- Canudo, J.I. y Molina, E. 1992c. Bioestratigrafía y evolución de los foraminíferos planctónicos del límite Cretácico/Terciario en Osinaga (Pirineo de Navarra). *Simposios III Congreso Geológico de España*, 2, 54-62.
- Canudo, J.I. y Molina, E. 1993. Implicaciones paleoceanográficas de las variaciones de los foraminíferos planctónicos y del isótopo $d^{13}C$ en el tránsito Paleoceno-Eoceno en Zumaya y Caravaca. *Actas IX Jornadas de Paleontología*, 43-48.
- Canudo, J.I., Gonzalvo, C. y Molina, E. 1993. Los foraminíferos planctónicos del tránsito Eoceno Medio-Superior en la cuenca de Jaca (Huesca, Pirineo). *Actas IX Jornadas de Paleontología*, 37-42.
- Canudo, J.I. Molina, E., Riveline, J., Serra Kiel, J. y Sucunza, M. 1988. Evénements biostratigraphiques á la limite Eocene/Oligocene dans le Prepyrénee d'Aragón (Espagne). *Revue de Micropaléontologie*, 31, 15-29.
- Canudo, J.I., Keller, G. y Molina, E., 1991. Cretaceous/Tertiary boundary extinction pattern and faunal turnover at Agost and Caravaca, S.E. Spain. *Marine Micropaleontology*, 17, 319-341.
- Canudo, J.I., Keller, G. y Molina, E. 1994. Planktic foraminiferal turnover and $d^{13}C$ isotopes across the Paleocene-Eocene transition at Caravaca and Zumaya, Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, (en prensa).
- Canudo, J.I., Malagón, J. Meléndez, A., Millán, H. Molina, E. y Navarro, J.J. 1991. Las secuencias deposicionales del Eoceno medio y superior de las Sierras exteriores (Prepirineo meridional aragonés). *Geogaceta*, 9, 81-84.
- Canudo, J.I., Molina, E. y Sucunza, M. 1989 Bioestratigrafía con foraminíferos planctónicos y nannoplankton calcáreo de la sección de Campo (Paraestratotipo del Ilerdiense). *Geogaceta*, 5, 81-84.
- Comas, M.C., Martínez Gallego, J. y Molina, E. 1984-85. Litofacies y sucesión estratigráfica del Eoceno y Oligoceno al Norte del Cerro Mencal (Zona Subbética, Provincia de Granada). *Cuadernos de Geología*, 12, 145-155.
- González Donoso, J.M. y Molina, E. 1977-78. El corte del Navazuelo (Cordilleras Béticas, Provincia de Granada) posible hipoestratotipo del límite Oligoceno/Mioceno. *Cuadernos de Geología*, 8, 226-240.
- González Donoso, J.M. y Molina, E. 1979. Correlation of the late Oligocene and early Miocene in the Tethys area, Spain: Central sector of the Betic Cordillera. *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, 1, 329-332.
- González Donoso, J.M., Linares, D., Molina, E. y Serrano, F. 1988. Bioestratigrafía y cronoestratigrafía de las Formaciones de Ciudad Granada y Fuente-Espejos,

- su significado tectosedimentario (Barranco Blanco, Provincia de Almería, España). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 1 (1-2), 53-71.
- González Donoso, J.M., Linares, D., Martín Algarra, A., Molina, E. y Serrano, F. 1983. Sobre la edad y el significado tectosedimentario de la Formación de pantano Andrade (Cordillera Bética, Provincia de Málaga, España). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Geológica)*, 81, 275-285.
- González Donoso, J.M., Linares, D. y Molina, E. 1981. Nuevos datos acerca de la edad de los materiales miocénicos transgresivos sobre las zonas internas de las Cordilleras Béticas en la provincia de Málaga. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Geológica)*, 79, 103-113.
- González Donoso, J.M., Linares, D., Molina, E. y Rodríguez, J. 1981. Presencia de materiales de edad Burdigaliense y Langhiense en la Depresión de Alcalá la Real (sector central de las Cordilleras Béticas). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Geológica)*, 79, 115-124.
- González Donoso, J.M., Linares, D., Molina, E. y Serrano, F. y Vera, J.A. 1982. Sobre la edad de la Formación de la Viñuela (Cordilleras Béticas, Provincia de Málaga). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Geológica)*, 80, 225-275.
- Gonzalvo, C. 1994. *Los foraminíferos planctónicos del tránsito Eoceno medio-Oligoceno inferior: Bioestratigrafía, cronoestratigrafía y eventos paleoceanográficos*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 1-349.
- Gonzalvo, C. y Molina, E. 1992a. Los foraminíferos planctónicos del tránsito Eoceno-Oligoceno en Torre Cardela (España) y Massignano (Italia): Bioestratigrafía y Cronoestratigrafía *Revista Española de Paleontología*, 7, (2), 109-126.
- Gonzalvo, C. y Molina, E. 1992b. Estudio cuantitativo de los foraminíferos planctónicos en el estratotipo del límite Eoceno/Oligoceno en Massignano (Apeninos, Italia). *Geogaceta*, 12, 64-67.
- Gonzalvo, C., Canudo, J.I. y Molina, E. 1994. Implicaciones paleoceanográficas de los foraminíferos planctónicos del tránsito Eoceno Medio-Eoceno Superior en la Cuenca de Jaca (Pirineos). Actas II Congreso Español del Terciario, (en prensa).
- Keller, G., D'Hont, S., Orth, C.J., Gilmore, J.S., Oliver, P., Shoemaker, E. y Molina, E. 1987. Late Eocene impact microspherules: stratigraphy, age and geochemistry. *Meteoritics*, 22, 25-60.
- Martínez Gallego, J. y Molina, E. 1975. Estudio del tránsito Eoceno-Oligoceno con foraminíferos planctónicos al Sur de Torre Cardela (Provincia de Granada, Zona Subbética). *Cuadernos de Geología*, 6, 177-195.
- Molina, E. 1980. *Oligoceno-Mioceno inferior por medio de foraminíferos planctónicos en el sector central de las Cordilleras Béticas (España)*. Tesis Doctoral, Publicación Universidades de Zaragoza y Granada, 1-341.
- Molina, E. 1986a. Description and biostratigraphy of the main reference section of the Eocene/Oligocene boundary in Spain: Fuente Caldera section. *Developments in Palaeontology and Stratigraphy*, 9, 53-63.
- Molina, E. 1986b. Foraminíferos versus Nannoplancton: evaluación comparativa de su utilidad bioestratigráfica. *Memorias I Jornadas de Paleontología*, 181-192.
- Molina, E. 1986c. Excursión al Cretácico superior y Paleógeno del Prepirineo oscense en el sector de Arguis. *Memorias I Jornadas de Paleontología*, 235-247.
- Molina, E. 1990. Ontogenia y tafonomía de los foraminíferos planctónicos: consecuencias en su aplicación geológica. *Comunicaciones de la Reunión de Tafonomía y Fosilización*, 231-236.
- Molina, E. 1994. Paleocene sections in Spain: Chronostratigraphical problems and possibilities. *Geologiska Foreningens i Stockholm Forhandlingar*, 116 (1), (en prensa).
- Molina, E., Canudo, J.I., Martínez Ruiz, F. y Ortiz, N., 1994. Integrated stratigraphy across the Paleocene/Eocene boundary at Caravaca. southern Spain. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 81, (en prensa).
- Molina, E., Gonzalvo, C. y Keller, G. 1992. Eventos paleoceanográficos en el tránsito Eoceno-Oligoceno por medio de foraminíferos planctónicos. *Actas III Congreso Geológico de España*, 1, 487-491.
- Molina, E., Gonzalvo, C. y Keller, G. 1993. The Eocene-Oligocene foraminiferal transition: extinctions, impacts and hiatuses. *Geological Magazine*, 130 (4), 483-499.
- Molina, E., Keller, G. y Madile, M. 1988. Late Eocene to Oligocene events: Molino de Cobo, Betic Cordillera, Spain. *Revista Española de Micropaleontología*, 20, 491-514.
- Molina, E., Monaco, P., Nocchi, M. y Parisi, C. 1986. Biostratigraphic correlation between the central subbetic (Spain) and umbro-marchean (Italy) pelagic sequences at the Eocene/Oligocene boundary using foraminifera. *Developments in Palaeontology and Stratigraphy*, 9, 75-85.
- Molina, E., Canudo, J. I., Guernet, C., McDougall, K., Ortiz, N., Pascual, J.O., Parés, J.M., Samsó, J.M., Serra Kiel, J. y Tosquella, J., 1992. The stratotypic ilderian revisited: integrated stratigraphy across the Paleocene/Eocene boundary. *Revue de Micropaléontologie*, 35, 2, 143-156.
- Molina, E., Ortiz, N. y Serra Kiel, J. 1988. Implicaciones paleoecológicas de los foraminíferos en el Eoceno del Prepirineo oscense (sector de Arguis). *Revista Española de Paleontología*, 3, 45-57.
- Ortiz, N. 1993. *Los microforaminíferos bentónicos del tránsito Paleoceno-Eoceno y sus implicaciones*

bioestratigráficas y paleoecológicas. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 1-274.

Pardo, A., Canudo, J.I. y Molina, E. 1994. Bioestratigrafía con foraminíferos planctónicos de la parte inferior de la Formación Ieper (Ypresiense estratotípico) en el sondeo Knokke (Bélgica). *Revista Española de Micropaleontología*, **26**, (en prensa).

ABSTRACT

The taxonomical study of foraminifera from different sections in Spain, Italy, Belgium, France, Tunisia

and Atlantic, Indian Pacific Oceans allows us to establish a detailed biozonation from the Late Cretaceous (Maastichtian) to the Middle Miocene (Langhian) that can be considered valid for subtropical and temperate regions. The main palaeoceanographical events have been analysed at high resolution in order to determine their corresponding faunal turnovers and to evaluate their suitability as boundary stratotypes. The marine European classical stages have been studied and the correlation between the planktic foraminiferal biozonation and the standard stages and epochs has been attempted.