

SÍNTESIS BIOESTRATIGRÁFICA Y EVENTOS PALEOCEANOGRÁFICOS DEL CRETÁCICO (MAASTRICHIENSE) AL MIOCENO (LANGHIENSE) BASADA EN FORAMINÍFEROS

Eustoquio MOLINA¹, Ignacio ARENILLAS¹, José A. ARZ¹, José I. CANUDO¹, Concepción GONZALVO¹, Nieves ORTIZ^{1,2} y Alfonso PARDO^{1,2}

¹ Departamento de Ciencias de la Tierra (Paleontología). Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza (España).

² Department of Geological and Geophysical Sciences. Princeton University. New Jersey 08544. EE.UU.

Molina, E., Arenillas, I., Arz, J.A., Canudo, J.I., Gonzalvo, C., Ortiz, N. y Pardo, A. 1996. Síntesis bioestratigráfica y eventos paleoceanográficos del Cretácico (Maastrichtiense) al Mioceno (Langhiense) basada en foraminíferos. [Biostratigraphic synthesis and paleoceanographic events from Cretaceous (Maastrichtian) to Miocene (Langhian) based on foraminifers]. *Revista Española de Paleontología*, N° **Extraordinario**, 195-203. ISSN 0213-6937.

ABSTRACT

The taxonomic study of foraminifera from different sections in Spain, Italy, Belgium, France, and Atlantic, Indian, Pacific Oceans has allowed us to establish a detailed biozonation by means of planktic foraminifera, from the Late Cretaceous (Maastrichtian) to the Middle Miocene (Langhian), that can be considered valid for subtropical and temperate regions. The main palaeoceanographic 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 series has been attempted.

Keywords: Foraminifera, Paleocene, Eocene, Oligocene, Chronostratigraphy.

RESUMEN

El estudio taxonómico de los foraminíferos de diferentes cortes en España, Italia, Bélgica, Francia y los Océanos Atlántico, Índico y Pacífico nos ha permitido establecer una detallada biozonación con foraminíferos planctónicos, desde el Cretácico Superior (Maastrichtiense) hasta el Mioceno Medio (Langhiense), que puede ser considerada válida para regiones subtropicales y templadas. Los principales eventos paleoceanográficos han sido analizados con alta resolución para determinar sus correspondientes cambios faunísticos y para evaluar sus posibilidades como estratotipos de límite. Los pisos marinos europeos clásicos han sido estudiados, estableciendo la correlación entre la biozonación de foraminíferos planctónicos, los pisos estándar y las series.

Palabras clave: Foraminíferos, 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 la mayoría de los cortes y sondeos estudiados se distribuyen por estas latitudes. Asimismo 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 (P/E). Otros eventos tales como los asociados a los límites Oligoceno/Mioceno (O/M), Eoceno/Oligoceno (E/O) y Cretácico/Terciario (K/T) también han sido estudiados en detalle, tratando de determinar la cronología de las extinciones y apariciones, evaluando su potencial interés como estratotipos de límite e interpretando las posibles causas de los cambios faunísticos.

Así pues, los problemas que se han planteado al intentar realizar esta síntesis son de naturaleza bastante diversa y se han pretendido resolver en un marco de colaboración; tanto entre los integrantes del equipo, como con otros investigadores en un contexto de colaboración multidisciplinar. Los foraminíferos –tal como aquí se muestra–, aportan unos datos paleontológicos de gran interés, los cuales convenientemente integrados con los aportados por otras disciplinas permiten la resolución de importantes problemas geológicos y paleobiológicos. La exposición de los resultados obtenidos desde 1975 sería muy extensa, por lo que se ha optado por incluir figuras de síntesis y hacer referencia a los trabajos publicados donde puede encontrarse una documentación más detallada.

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, Tresp, Osinaga, Yebra de Basa, Zumaya. En Italia: Case Cocuzza,

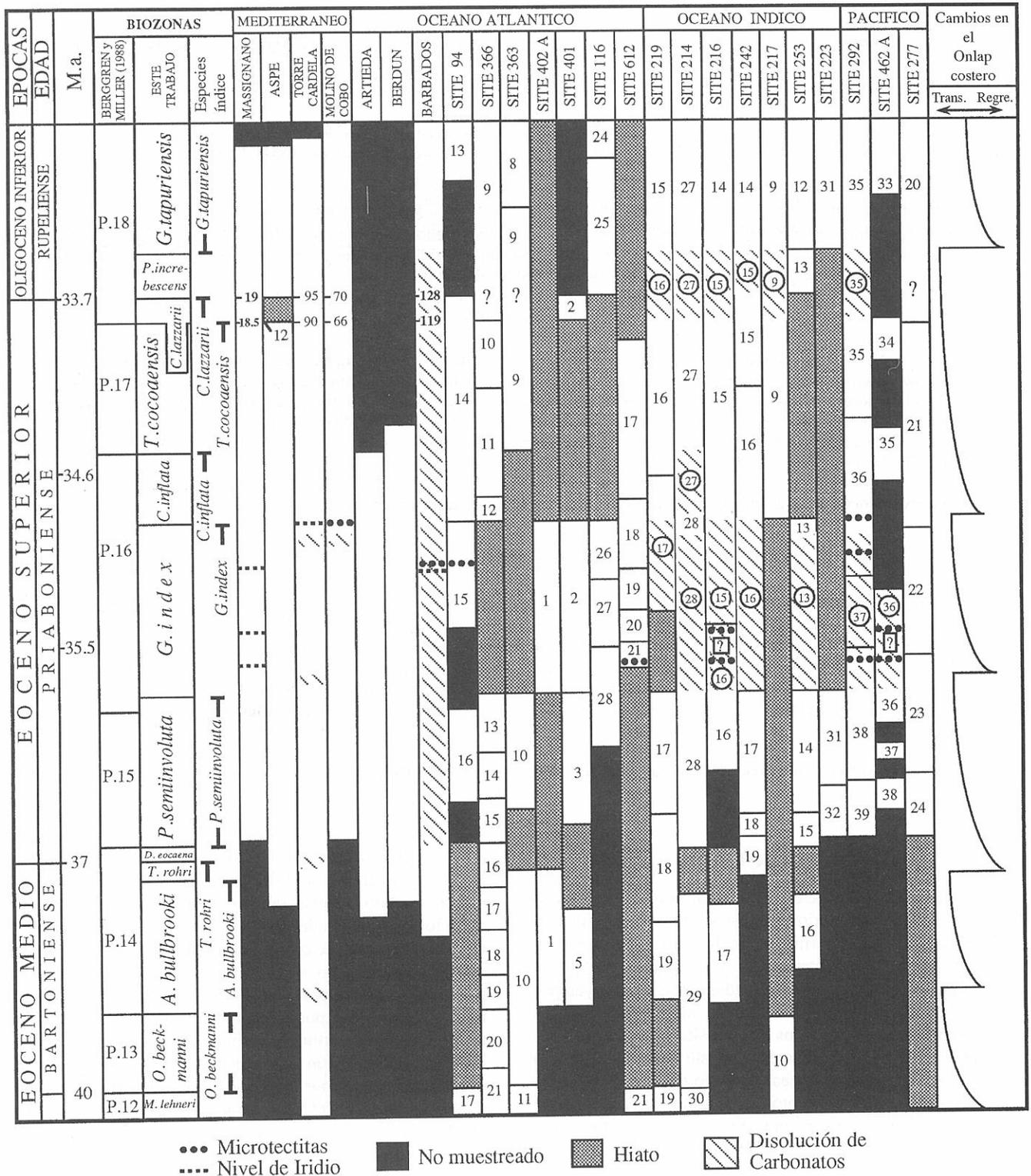


Figura 1. Síntesis bioestratigráfica y cronoestratigráfica de los eventos registrados en los 24 cortes y sondeos estudiados en el tránsito Eoceno-Oligoceno (modificado de Molina, *et al.*, 1993).

Colle Castellano, Costa dell'Angelo, Gubbio, Massignano, Viso. En Bélgica: Knokke. En Francia: Gave d'Oloron. 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., llegando en los eventos de límite a tomar muestras continuas cada dos centímetros. 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. En muchos cortes se ha realizado un análisis cuantitativo separando una fracción representativa de 300 o más ejemplares de cada muestra (utilizando un microcuarteador tipo Otto) y revisando el resto de la muestra para buscar las especies poco abundantes.

SÍNTESIS

Las investigaciones bioestratigráficas se iniciaron sobre el Oligoceno y Mioceno Inferior del sector central de las Béticas, siendo uno de los principales objetivos la propuesta de una nueva biozonación de carácter regional (Molina, 1979, 1980). El objetivo básico de este trabajo era el estudio taxonómico de los foraminíferos planctónicos, teniendo como resultado la definición de una nueva especie: *Protentella navazuelensis*, y la propuesta de una nueva filogenia. Además se abordó el estudio cronoestratigráfico del límite O/M o límite Paleógeno/Neógeno (González Donoso y Molina, 1977-78, 1979; Gelati y Steininger eds. 1983). En este sentido, como estratotipos potenciales del límite O/M se propusieron dos cortes españoles: El Navazuelo y Barranco Blanco. Se proponía situar dicho límite en el evento de aparición del género *Globigerinoides*, pero este límite aún no se ha establecido oficialmente, si bien existe la propuesta de situarlo en el metro 35 del corte italiano de Lemme (23,8 M.a., C6Cn2r/C6Cn2n), principalmente debido a la dificultad de correlacionar a escala mundial un evento de aparición. Así se ha constatado que generalmente las apariciones son más graduales, y consecuentemente más diacrónicas que las extinciones, por lo que resulta difícil su utilización cuando no van asociadas a un evento paleoceanográfico importante.

Por otro lado, se abordaron una serie de problemas relativos a la cronología de la estructuración de las Cordilleras Béticas, datando como Burdigaliense basal unos materiales transgresivos sobre las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas (González Donoso *et al.*, 1981), identificando una laguna estratigráfica de edad Burdigaliense Medio en el sector central (González Donoso *et al.*, 1981), datando como Burdigaliense basal la formación de La Viñuela y estableciendo su carácter discordante sobre las Zonas Internas (González Donoso *et al.*, 1982), determinando la formación del pantano de Andrade como Aquitaniense y como depósito previo a la estructuración definitiva de las Cordilleras Béticas (González Donoso *et al.*, 1983), y datando las formaciones de Ciudad Granada y Fuente Espejos y discutiendo su significado tectosedimentario en el contexto de la evolución de la cordillera (González Donoso *et al.*, 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), estableciendo la bioestratigrafía del intervalo del límite. 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 E/O (Molina, 1986). Se proponía el nivel donde se extinguen los últimos hantkenínidos y se puso de manifiesto que la extinción de las formas típicas del Eoceno fue gradual. El estratotipo de límite ha sido también estudiado en Italia (Molina *et al.*, 1986a), estableciendo la correlación bioestratigráfica entre las secuencias pelágicas umbro-marcheanas (Italia) y subbéticas (España). El estratotipo del límite E/O fue finalmente definido en el corte de Massignano (Gonzalvo y Molina, 1992a, 1992b) y a ello se ha contribuido estableciendo el estudio cuantitativo de los foraminíferos planctónicos en el corte estratotípico y definiendo una biozonación de alta resolución. Los eventos del tránsito E/O han sido estudiados en detalle y a escala mundial (Keller, *et al.*, 1987; Canudo *et al.*, 1988; Molina *et al.*, 1992, 1993; Gonzalvo, 1994) analizando la naturaleza y efectos de los principales eventos bioestratigráficos y paleoceanográficos.

En este sentido, se ha puesto de manifiesto que no existe relación causa y efecto entre los niveles de impacto meteorítico del Eoceno Superior y las extinciones, las cuales son atribuidas al descenso de la temperatura. El enfriamiento global estaría asociado a la separación de la Antártida y Australia que provocaría un nuevo sistema de circulación oceánica con el desarrollo en los fondos oceánicos de la capa de agua fría denominada psicrosfera. Los tres o posiblemente cuatro impactos meteoríticos han sido datados (Molina *et al.*, 1993) como acontecidos en la Biozona de *G. index* (Priaboniense Medio) durante el período de tiempo comprendido entre 34,7 y 35,7 millones de años (Fig. 1). Estos impactos meteoríticos que están muy bien documentados y datados encontraron un ecosistema difícil de alterar, o no tuvieron la suficiente magnitud para generar extinción masiva, y las probables catástrofes debieron producir desapariciones sólo a nivel local en áreas que serían rápidamente recolonizadas. La extinción que puede calificarse de masiva y gradual, comenzó hace unos 40 millones de años y se espació a lo largo de los 10 millones de años siguientes, con varios momentos de aceleración, especialmente en el límite Eoceno Medio/Superior y en el E/O. El descenso de la temperatura, acentuado periódicamente, provocó caídas del nivel del mar y otros fenómenos, siendo la causa principal del mecanismo causante de esta extinción (Molina, 1994b).

El Paleógeno ha sido objeto de una serie de estudios sobre diversos aspectos (Molina, 1986b, 1986c, 1990, 1994a; Molina *et al.*, 1988; Canudo 1990, 1994a; Canudo y Molina, 1988; Canudo *et al.*, 1991, 1993; Arenillas *et al.*, 1993; Gonzalvo *et al.*, 1994; Tambareau *et al.*, 1994) estableciendo biozonaciones de carácter regional aplicables al Pirineo (Canudo y Molina, 1992b) o a las Béticas (Arenillas y Molina, en prensa) y analizando los eventos paleoceanográficos. En este sentido, se ha puesto de manifiesto la evolución del porcentaje de los diferentes géneros marcadores paleoecológicos del Paleoceno en Zumaya (Arenillas y Molina, 1995a) y del porcentaje de los géneros de aguas cálidas (bajas latitudes) y de aguas frías (latitudes medias y altas), observándose cambios

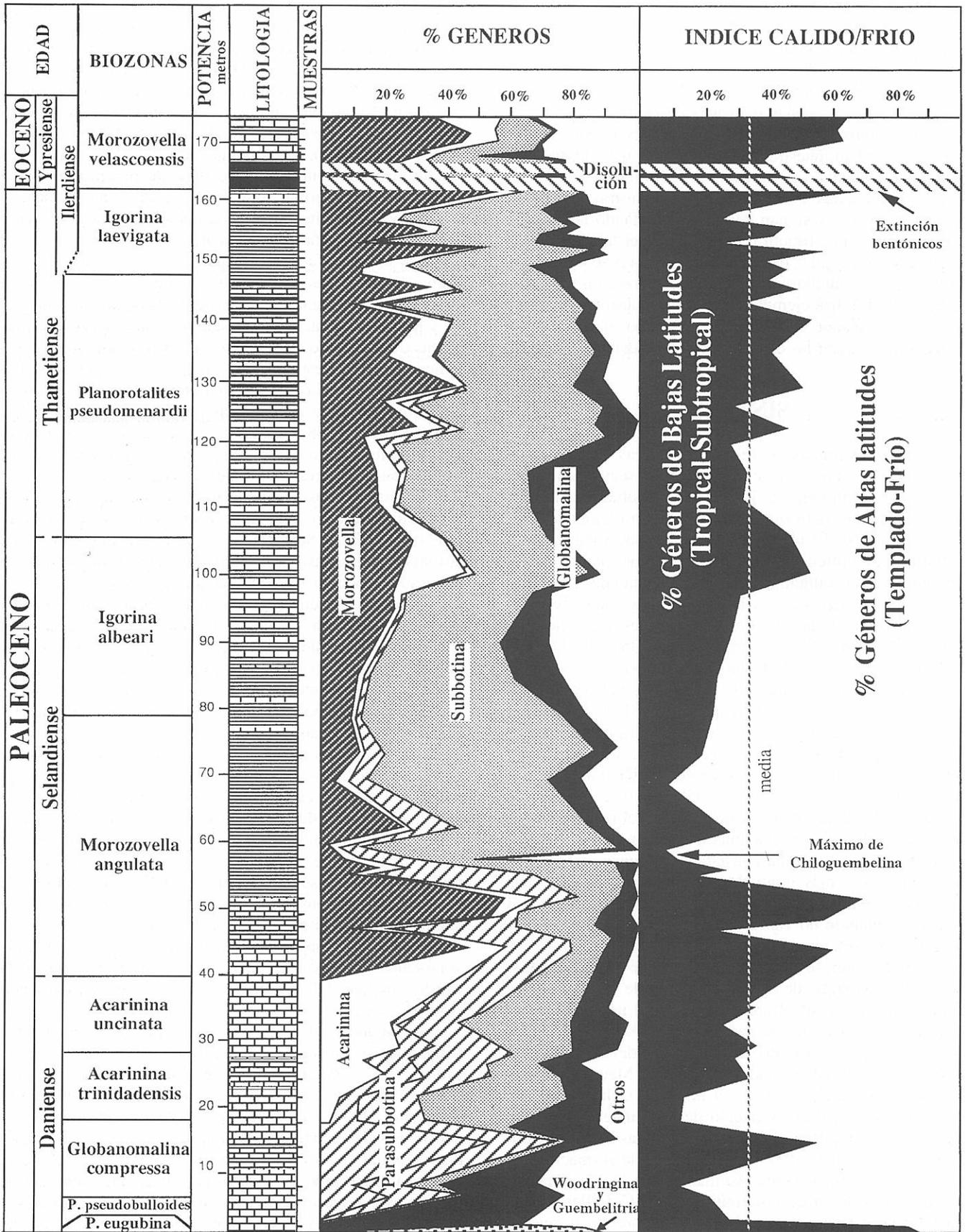


Figura 2. Evolución del porcentaje de los diferentes géneros y del porcentaje de los géneros de aguas cálidas y frías durante el Paleoceno en el corte de Zumaya (modificado de Arenillas y Molina, 1995a).

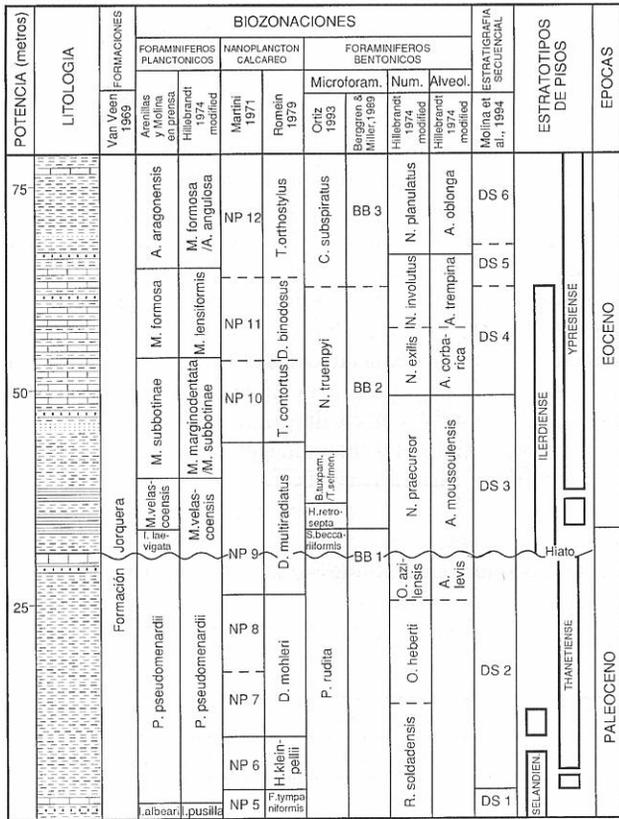


Figura 3. Estratigrafía integrada a lo largo del tránsito Paleoceno-Eoceno en el corte de Caravaca (modificado de Molina et al., 1994).

importantes en el tránsito Daniense/Selandiense y Paleoceno/Eoceno. (Fig. 2).

El evento del límite Paleoceno/Eoceno ha sido el estudiado más en detalle; 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; Serra Kiel et al., 1994; Molina et al., 1995), precisando sus límites inferior y superior y, posteriormente, correlacionándolo con el estratotipo del Ypresiense en Bélgica (Pardo et al., 1994). Sin embargo, han sido los cortes de Zumaya, Alamedilla y Caravaca (Fig. 3) los que mejor han permitido precisar la cronología y la naturaleza de este evento, observándose una extinción masiva de los microforaminíferos bentónicos batiales y abisales (Ortiz, 1993), que se corresponde con cambios cuantitativos en las asociaciones de los foraminíferos planctónicos, los cuales fueron provocados por la migración de especies tropicales y subtropicales hacia latitudes medias y altas durante el evento (Canudo y Molina, 1992a, 1993; Molina 1994b; Arenillas y Molina, 1995b; Pardo et al., 1995). 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, así como cambios en los patrones de circulación de las corrientes oceánicas, deteniéndose el flujo de agua fría de origen polar y produciéndose aportes de aguas cálidas e hipersalinas procedentes probablemente del Tethys. Esto se refleja en cambios importantes en los isótopos de Carbono 13 y Oxígeno 18, y en la concentración de distintos elementos y minerales (Molina et al., 1994). Dicho evento tuvo como consecuencia el desarrollo de anoxia, el aumento de la lisoclina y del nivel del mar (Molina, 1994b), originando disolución de carbonatos en los fondos batiales y

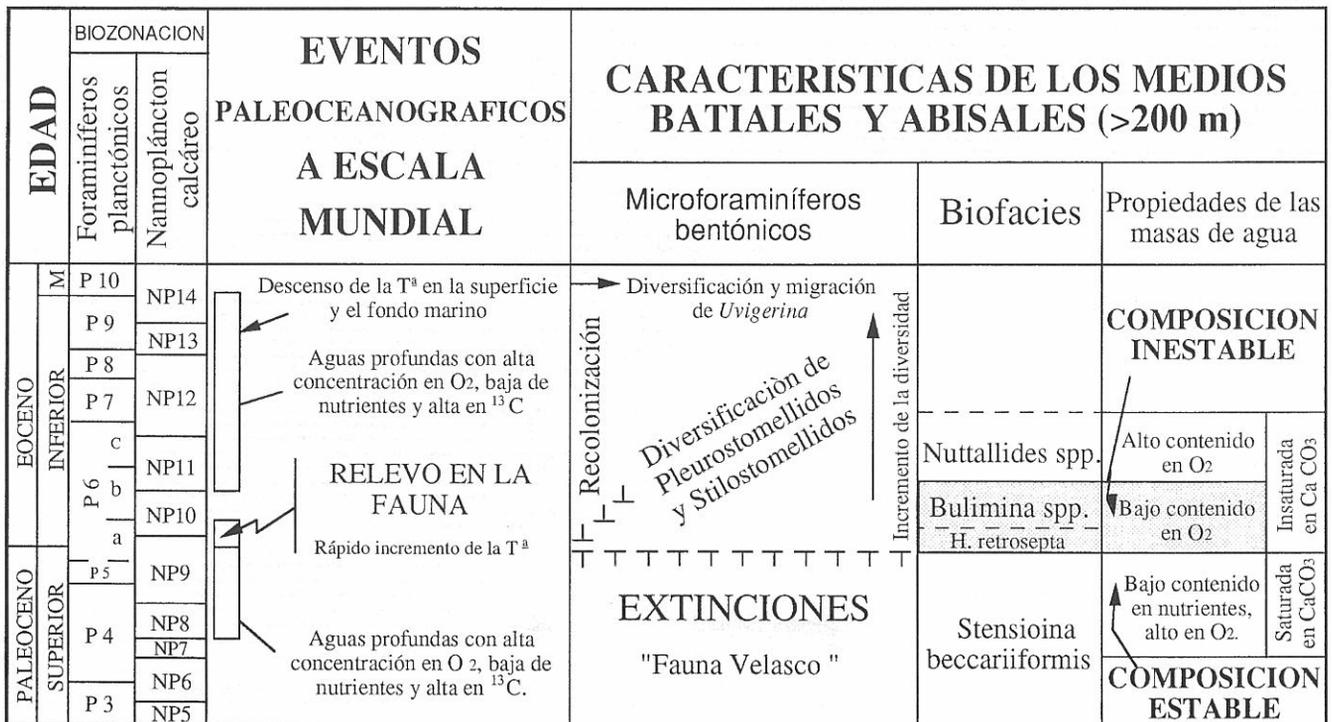


Figura 4. Síntesis de los datos paleoceanográficos y paleoecológicos en el tránsito Paleoceno-Eoceno (modificado de Ortiz, 1994).

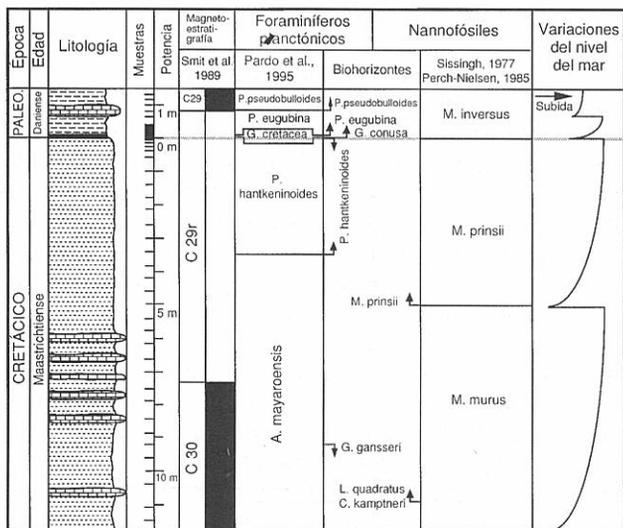


Figura 5. Estratigrafía integrada de alta resolución en el tránsito Cretácico-Terciario en el corte de Agost (modificado de Pardo *et al.*, en prensa).

abisales. Este mecanismo dio lugar a un nivel de naturaleza arcillosa, en cuya base se produjo una extinción en los foraminíferos bentónicos que puede calificarse de masiva, ya que afectó a más del 50% de las especies entonces existentes (Fig. 4, Ortiz, 1994), que proponemos utilizar para definir el estratotipo de límite en el corte de Zumaya.

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, 1992c; Arz *et al.*, 1992; Canudo 1994b; Pardo *et al.*, en prensa). Estos cortes –que se cuentan entre los más completos a nivel mundial– permiten establecer que ocurrió realmente a un ecosistema tan evolucionado como el del Cretácico superior. Con objeto de documentar de una forma precisa cuales fueron las causas del evento del límite K/T se ha realizado bioestratigrafía integrada y de alta resolución para el intervalo del tránsito (Fig. 5). Del estudio de todos estos cortes se pone de manifiesto que en las regiones subtropicales del Tethys 5 especies de foraminíferos planctónicos desaparecen poco antes del límite, 47 se extinguen en coincidencia con el nivel de impacto, siendo la mayor crisis de la historia de los foraminíferos planctónicos, y 18 sobreviven

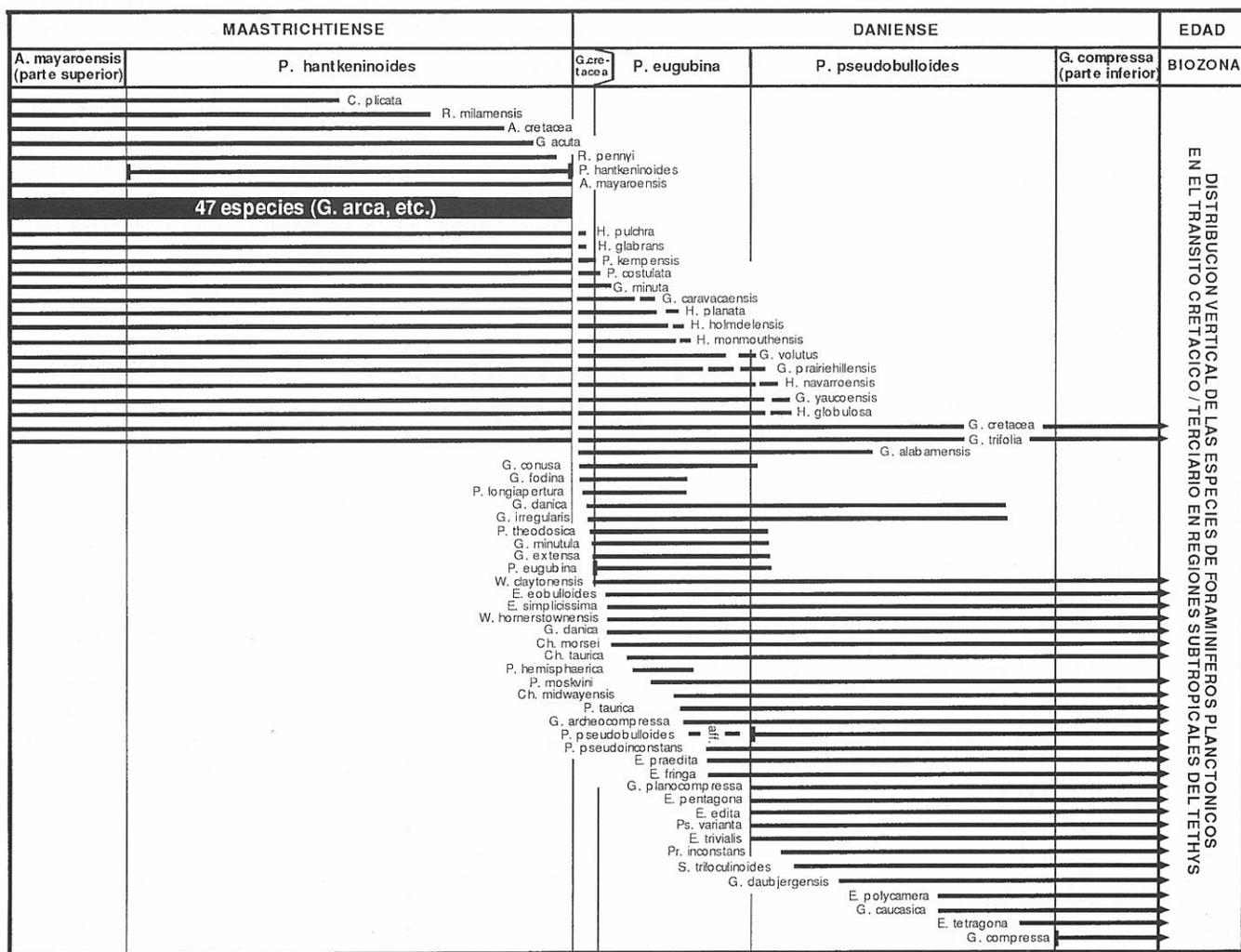


Figura 6. Distribución vertical de las especies de foraminíferos planctónicos en el tránsito K/T. Síntesis elaborada a partir de datos de diferentes cortes situados en regiones subtropicales del Tethys.

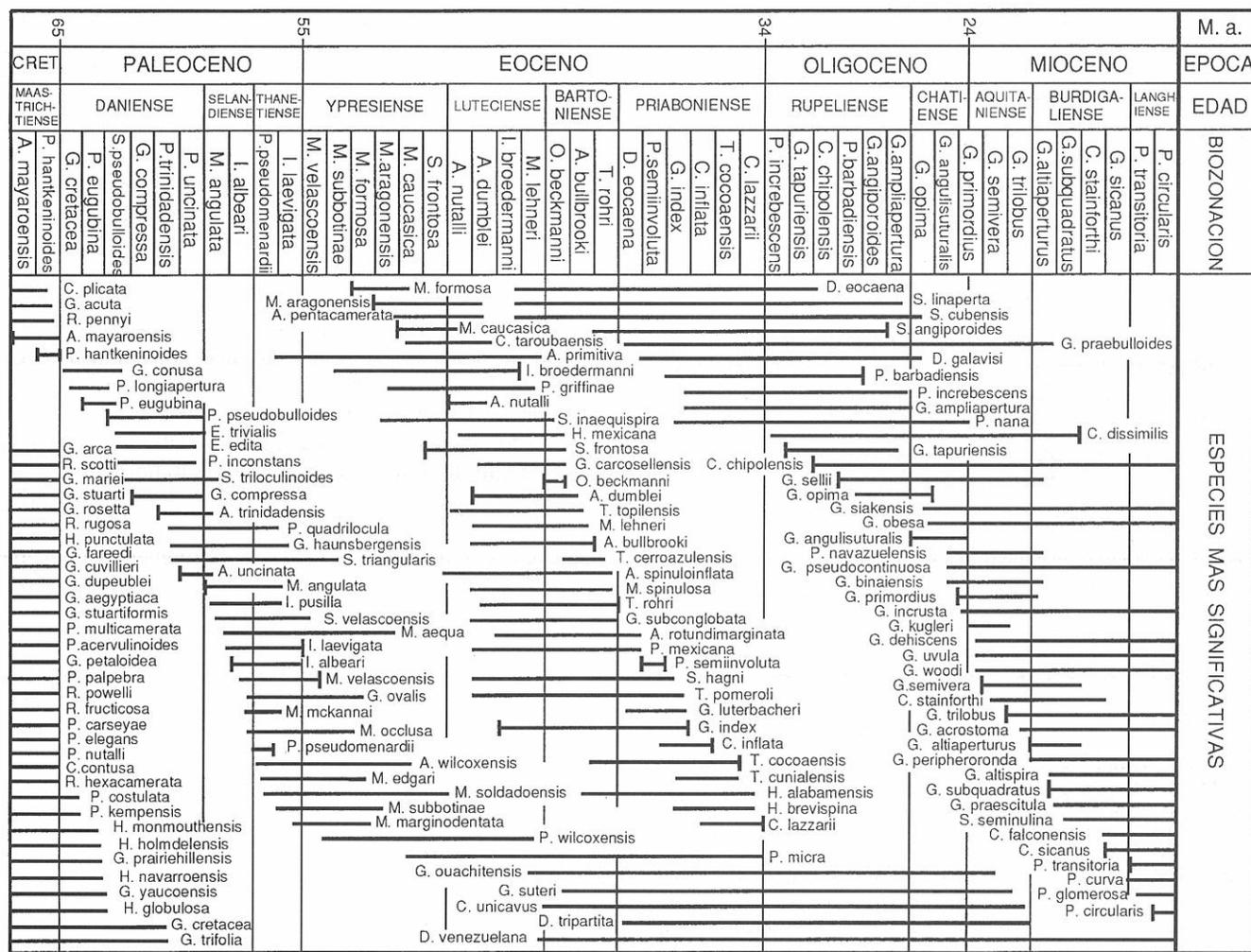


Figura 7. Síntesis bioestratigráfica y cronoestratigráfica desde el Maastrichtiense al Langhiense mostrando la distribución de las especies más significativas de foraminíferos planctónicos de latitudes subtropicales y templadas.

extinguiéndose en la base del Paleoceno (Fig. 6). En todos estos cortes se ha podido observar que el evento de impacto meteorítico coincide con la extinción de las formas más grandes y especializadas, muy bien adaptadas a medios profundos y típicas de bajas latitudes; mientras que ciertas formas pequeñas, superficiales y oportunistas sobrevivieron al evento refugiándose en altas latitudes. La extinción masiva catastrófica del límite K/T sería debida a los efectos del gran impacto meteorítico y las especies supervivientes se extinguieron en la parte inferior del Daniense al competir con las nuevas especies que van evolucionando y que se adaptan mejor a las nuevas condiciones ambientales. Así pues, el modelo de extinción presenta dos patrones superpuestos: uno gradual y otro catastrófico (Molina, 1995). Los microforaminíferos bentónicos no sufrieron extinción masiva, pero el evento de impacto les afectó produciéndose cambios en las asociaciones y pseudoextinciones (efecto Lázaro). 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 realmente se produjeron cambios sig-

nificativos en las asociaciones de foraminíferos planctónicos durante el Maastrichtense terminal y cómo se recuperó el ecosistema tras el evento del límite K/T.

Los datos aportados en nuestras anteriores publicaciones han sido revisados y algunos modificados, constituyendo con los nuevos aquí aportados una serie de conclusiones que se sintetizan en un cuadro (Fig. 7) en el que se indica la distribución vertical de las especies más significativas de foraminíferos planctónicos y la nueva biozonación definida para latitudes subtropicales y templadas. Esta biozonación se ha correlacionado con los pisos estándar (Maastrichtiense, Daniense, Selandiense, Thanetiense, Ypresiense, Luteciense, Bartoniense, Priaboniense, Rupeliense, Chatiense, Aquitaniense, Burdigaliense y Langhiense), lo cual supone un marco importante para situar bioestratigráficamente los eventos paleoceanográficos más relevantes y establecer los fenómenos de evolución y extinción de los foraminíferos.

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 está siendo subvencionado por la DGICYT proyecto PB94-0566, I. Arenillas por una beca de la Diputación General de Aragón BCB3692, J.A. Arz por una beca de la Diputación Foral de Navarra OF/478/92 y N. Ortiz por una beca del Ministerio de Educación y Ciencia EX92 17215112.

BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- Arenillas, I. y Molina, E. 1995a. Análisis cuantitativo de los foraminíferos planctónicos del Paleoceno en Zumaya: Implicaciones paleoambientales y eventos paleoceanográficos. *Geogaceta*, **17**, 23-26.
- Arenillas, I. y Molina, E. 1995b. El límite Paleoceno/Eoceno en el corte de campo (Paraestratotipo del Ilerdiense) con foraminíferos planctónicos. *Actas XI Jornadas de Paleontología*, 29-33.
- Arenillas, I. y Molina, E. (en prensa). Bioestratigrafía y evolución de las asociaciones de foraminíferos planctónicos del tránsito Paleoceno-Eoceno en Alamedilla (Cordilleras Béticas). *Revista Española de Micropaleontología*, **18**.
- Arz, J. A., Canudo, J. I. y Molina, E. 1992. Estudio comparativo del Maastrichtiense de Zumaya (Pirineos) y Agost (Béticas) basado en el análisis cuantitativo de los foraminíferos planctónicos. *Actas III Congreso Geológico de España*, **1**, 487-491.
- 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. 1994a. *Luterbacheria*, un nuevo género de foraminífero planctónico (protozoa) del Paleoceno-Eoceno y sus relaciones filogenéticas. *Revista Española de Micropaleontología*, **26**, 23-42.
- Canudo, J. I. 1994b. Bioestratigrafía y evolución de los foraminíferos planctónicos en el tránsito Cretácico -Terciario en España. *Cuadernos Interdisciplinares*, **5**, 141-165.
- 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., Keller, G. and 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., Molina, E. and Ortiz, N. 1994. Planktic foraminiferal turnover and $\delta^{13}C$ isotopes across the Paleocene-Eocene transition at Caravaca and Zumaya, Spain. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, **114**, 75-100.
- 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. 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. and 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 $\delta^{13}C$ en el tránsito Paleoceno-Eoceno en Zumaya y Caravaca. *Actas IX Jornadas de Paleontología*, 43-48.
- Canudo, J. I. Molina, E., Riveline, J., Serra Kiel, J. et Sucunza, M. 1988. Evénements biostratigraphiques á la limite Eocene/Oligocene dans le Prepyréné d'Aragón (Espagne). *Revue de Micropaléontologie*, **31** (1), 15-29.
- Canudo, J. I., Molina, E. y Sucunza, M. 1989. Bioestratigrafía con foraminíferos planctónicos y nanoplancton calcáreo de la sección de Campo (Paraestratotipo del Ilerdiense). *Geogaceta*, **5**, 81-84.
- Comas, M. C., Martínez Gallego, J. y Molina, E. 1984-85. Litofácies y sucesión estratigráfica del Eoceno y Oligoceno al Norte del Cerro Mencil (Zona subbética, Provincia de Granada). *Cuadernos de Geología*, **12**, 145-155.
- Gelati, R. and Steininger, F. eds. 1983. Potential boundary stratotype sections in Italy and Spain. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, **89**, (4), 456-556.
- 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. 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., Molina, E., 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.
- 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. and Molina, E. 1979. Correlation of the late Oligocene and early Miocene in the Tethys area, Spain: Cen-

- tral sector of the Betic Cordillera. *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, **1**, 329-332.
- 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., 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*, 121-124.
- 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.
- Keller, G., D'Hont, S., Orth, C.J., Gilmore, J. S., Oliver, P., Shoemaker, E. and 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. 1979. Oligoceno-Mioceno inferior por medio de foraminíferos planctónicos en el sector central de las Cordilleras Béticas. *Resumen de Tesis Doctoral, Secretariado de Publicaciones, Universidad de Zaragoza*, 1-18.
- 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 Nannoplankton: 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. *Actas Reunión sobre Tafonomía y Fosilización*, 231-236.
- Molina, E. 1994a. Paleocene sections in Spain: Chronostratigraphical problems and possibilities. *Geologiska Foreningens i Stockholm Forhandlingar*, **116** (1), 58-60.
- Molina, E. 1994b. Aspectos epistemológicos y causas de la extinción. *Cuadernos Interdisciplinarios*, **5**, 11-30.
- Molina, E. 1995. Modelos y causas de extinción masiva. *Interciencia*, **20**(2), 83-89.
- Molina, E., Canudo, J. I., Guernet, C., McDougall, K., Ortiz, N., Pascual, J. O., Parés, J. M., Samsó, J. M., Serra Kiel, J. and Tosquella, J., 1992. The stratotypic ilerdian revisited: integrated stratigraphy across the Paleocene/Eocene boundary. *Revue de Micropaléontologie*, **35**, 2, 143-156.
- Molina, E., Canudo, J. I., Martínez Ruiz, F. and Ortiz, N., 1994. Integrated stratigraphy across the Paleocene/Eocene boundary at Caravaca, southern Spain. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, **81** (1), 47-61.
- Molina, E.; de Renzi, M. y Álvarez, G. 1995. El Estratotipo del Ilerdiense y su registro Fósil. *Actas XI Jornadas de Paleontología*, 211-220
- 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. and Keller, G. 1993. The Eocene-Oligocene foraminiferal transition: extinctions, impacts and hiatuses. *Geological Magazine*, **130** (4), 483-499.
- Molina, E., Keller, G. and 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. and 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., 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.
- Ortiz, N. 1994. La extinción masiva de foraminíferos bentónicos batiales y abisales en el límite Paleoceno/Eoceno. *Cuadernos Interdisciplinarios*, **5**, 202-218.
- 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**, 109-125.
- Pardo, A., Keller, G., Molina, E. and Canudo, J. I. 1995. Planktic Foraminiferal Paleocology along the Paleocene/Eocene transition at site 401 (Bay of Biscay, North Atlantic). *Actas XI Jornadas de Paleontología*, 129-134.
- Pardo, A., Ortiz, N. and Keller G. (en prensa). Latest Maastrichtian and K/T boundary foraminiferal turnover and environmental changes at Agost, Spain. In: *Biotic and Environmental Events across the Cretaceous/Tertiary Boundary*. (Eds. N., McLeod y G. Keller) Norton Press, New York.
- Serra Kiel, J., Canudo, J. I., Dinarés, J., Molina, E., Ortiz, N., Pascual, J., Samsó, J. M. y Tosquella, J. 1994. Geocronología de los sedimentos marinos del Terciario Inferior de la cuenca de Tremp-Graus (Zona central surpirenaica). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, **7** (3-4), 273-197.
- Tambareau, Y., Canudo, J.I., Gruas, C., Hottinger, L. and Molina, E. 1994. Excursion to Béarn: Narp, Nouts-Oraas, Gave d'Oloron valley. *Field trip in the Pyrenees, Aspet*. 33-39.