

EXTINCIÓN DE FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS EN EL TRÁNSITO CRETÁCICO-TERCIARIO DE ZUMAYA (GUIPÚZCOA): ¿SUPERVIVENCIA O REELABORACIÓN?

J. A. ARZ¹, I. ARENILLAS² Y E. MOLINA²

¹ Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, MEX-67700 Linares, México

² Departamento de Ciencias de la Tierra (Paleontología), Universidad de Zaragoza, E-50009 Zaragoza, España

Resumen

El estudio bioestratigráfico, cuantitativo y tafonómico con foraminíferos planctónicos de dos cortes marinos continuos en Zumaya ha permitido confirmar que el modelo catastrofista es el modelo de extinción que mejor se ajusta al evento del límite Cretácico/Terciario (K/T). Una revisión exhaustiva de todas las muestras indica que 44 especies se extinguen en coincidencia con el límite K/T y las evidencias de impacto meteorítico. Estas son en su mayor parte formas grandes, de bajas latitudes y habitantes de aguas profundas e intermedias. En general, el diferente color de los materiales y conchas de foraminíferos planctónicos entre el Maastrichtiense terminal (rojo) y el Daniense basal (gris) permite distinguir como reelaborados los ejemplares de la base del Daniense por su distintivo color rojo. Aunque este criterio de reelaboración no permite asegurar qué ejemplares son realmente acumulados, puede ayudar a confirmar la persistencia de 15 especies cretácicas en la base del Daniense. Estas especies son pequeñas, cosmopolitas y de aguas superficiales y podrían ser consideradas como probables supervivientes al evento del límite K/T.

Palabras clave: Foraminíferos, Tafonomía, Análisis cuantitativo, Maastrichtiense, Daniense, Pirineos.

Abstract

The biostratigraphic, quantitative and taphonomic study by means of planktic foraminifera from the continuous marine section at Zumaya has allowed to corroborate that the catastrophic model of mass extinction is the most consistent for the Cretaceous/Tertiary (K/T) boundary event. An exhaustive revision of all the samples indicates that 44 species became extinct coincident with the K/T boundary and the evidence of a meteoritic impact. These are large, low-latitude species that live in deep and intermediate waters. In general, the different colors of the sediments and planktic foraminiferal shells that appear red in the terminal Maastrichtian and grey in the basal Danian let us differentiate reworked cretaceous specimens in the basal Danian by their distinctive red color. Although the reworking criterion based on differences in color may not guarantee that specimens truly reworked, it helps to corroborate the existence of 15 Cretaceous species in the lowest Danian. These species are small, cosmopolitan and surface dwellers that may be considered survivors of the K/T boundary event.

Key words: Foraminifera, Taphonomy, Quantitative analysis, Maastrichtian, Danian, Pyrenees.

INTRODUCCIÓN

Actualmente existe un consenso bastante generalizado de que en el límite Cretácico/Terciario (K/T) se produjo la mayor extinción en masa de foraminíferos planctónicos de la historia geológica del planeta (Luterbacher & Premoli Silva, 1964; Smit, 1982, 1990). Sin embargo, todavía está abierto el debate (Keller, 1997; Smit & Nederbragt, 1997) sobre si la extinción se ajusta mejor a un modelo más catastrofista (Smit, 1982, 1990) o más gradualista (Keller, 1988, 1989). El estudio de cortes continuos y bien expuestos está permitiendo confirmar que el modelo de extinción que mejor se ajusta al evento del límite K/T es un modelo catastrofista compatible con la hipótesis del impacto de un gran meteorito (Álvarez *et al.*, 1980; Smit & Hertogen, 1980; Molina *et al.*, 1996, 1998). No obstante, existe la posibilidad de que un reducido número de especies oportunistas y pequeñas sobrevivan al evento del límite K/T (Keller, 1988, 1989; Canudo *et al.*, 1991). Estas especies presentan un modelo de extinción más gradual que podría estar ocasionado por los efectos medioambientales secundarios desencadenados tras el impacto y por competencia biológica (Molina *et al.*, 1996, 1998).

La controversia sobre el modelo detallado y las causas de extinción del evento del límite K/T está ocasionada en gran medida por razones de tipo metodológico e interpretativo (Signor & Lipps, 1982; Molina, 1994, 1995; Smit & Nederbragt, 1997). El debate incluye diversos problemas de tipo tafonómico, entre los que destaca el de la reelaboración. En la actualidad se discute sobre si las especies cretácicas de foraminíferos planctónicos encontrados en la base del Daniense deben considerarse reelaboradas (Smit, 1982, 1990; Liu & Olsson, 1992; Olsson & Liu, 1993; Smit & Nederbragt, 1997) o supervivientes (Keller, 1988, 1997; Canudo *et al.*, 1991; Keller *et al.*, 1995; MacLeod & Keller, 1994). Este punto es importante, puesto que, estudiando los mismos perfiles, Smit (1982, 1990), Smit & Nederbragt (1997) y Molina *et al.* (1996, 1998) mantienen una interpretación de tipo catastrofista, mientras que Keller (1988, 1989, 1997), Canudo *et al.* (1991), Keller *et al.* (1995) y Pardo *et al.* (1996) indican un modelo de extinción más gradual.

El problema fundamental es que normalmente no existe un criterio visual sencillo en micropaleontología para discernir cuáles de estas especies son reelaboradas o simplemente acumuladas. Además, como el porcentaje de ejemplares reelaborados varía en

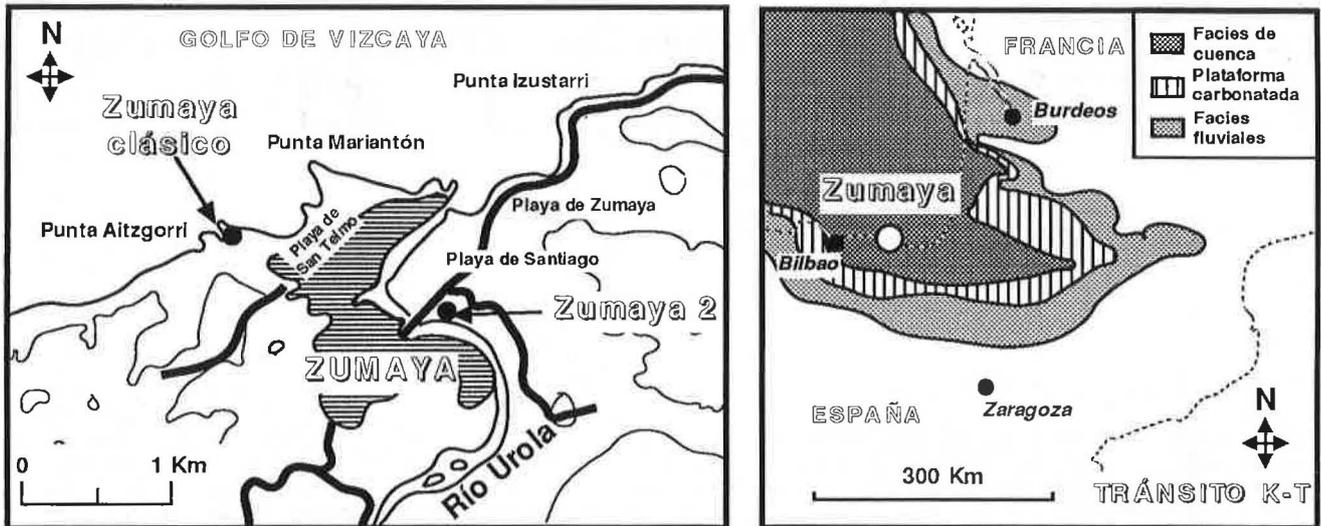


FIGURA 1—Situación geográfica y paleogeográfica del perfil clásico de Zumaya y del perfil de Zumaya 2.

cada corte estudiado, la mayor parte de las especies del Maastrichtiense terminal han sido encontradas alguna vez en la base del Daniense. Con el fin de minimizar este problema, se han muestreado dos perfiles próximos en la localidad de Zumaya que permiten evaluar el patrón de extinción de los foraminíferos planctónicos a través del tránsito K/T. Para llevar a cabo este objetivo se consideran no sólo los criterios de reelaboración mencionados anteriormente, sino también la diferente coloración que presentan los ejemplares en las muestras del Daniense.

MATERIALES Y METODOLOGÍA

El corte clásico de Zumaya se localiza al Noroeste de la localidad cerca de Punta Aitzgorri, y el corte de Zumaya 2 se localiza al Este del pueblo, en la margen derecha del río Urola, aproximadamente en el km 27,3 de la carretera C634 que une Zumaya y Guetaria (Fig. 1). El corte clásico destaca por su continuidad y buena exposición (Hillebrandt, 1965; Lamolda, 1985; Arenillas *et al.*, 1998). El límite K/T de Zumaya 2 es similar y los foraminíferos planctónicos del Daniense basal son más abundantes y están mejor conservados, pero tiene una exposición más deficiente debido a que está afectado por pequeñas fallas que se enmarcan en un contexto estructural más complejo. En ambos perfiles, el límite K/T está marcado por un nivel de arcilla gris oscura de 10 cm de espesor, en cuya base hay una lámina de calcita de 1-2 cm de espesor de origen diagenético.

Ambos cortes han sido muestreados con una metodología de alta resolución en intervalos centimétricos a decimétricos. Se han estudiado un total de 30 muestras, 20 del perfil clásico y 10 del perfil de Zumaya 2. Todas las muestras fueron disgregadas con la ayuda de H_2O_2 , levigadas con un tamiz de 63 μm y secadas con una estufa a menos de 50 °C. El análisis cuantitativo ha sido reali-

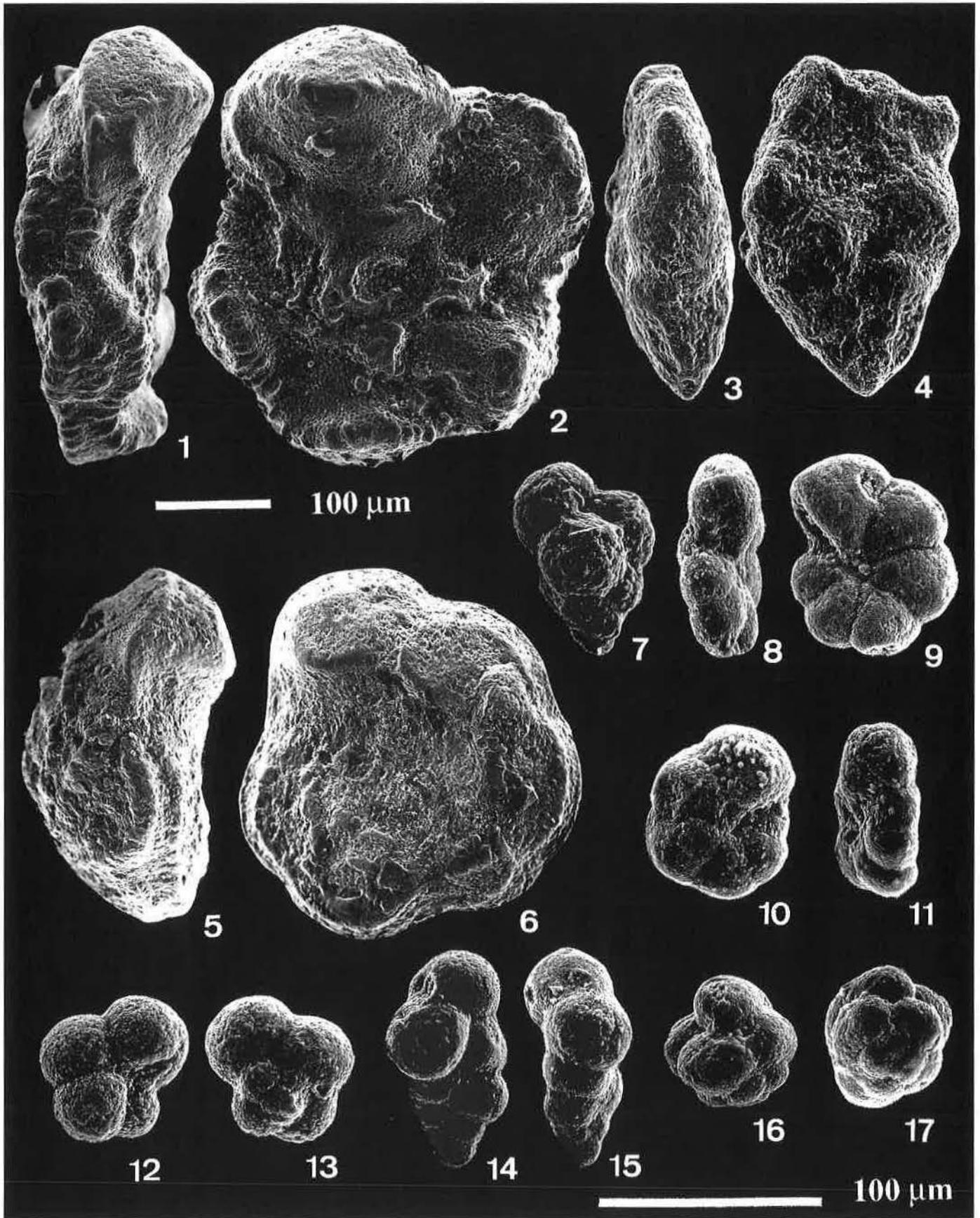
zado basándose en una fracción representativa del residuo mayor de 63 μm , obtenida mediante un microcuarteador tipo Otto. Se han clasificado alrededor de 300 ejemplares por cada muestra y se ha revisado el resto del residuo con el fin de identificar las especies más escasas. El número de ejemplares en las calizas del Daniense basal es muy bajo, por lo que ha sido preciso un triado muy laborioso para realizar un estudio cuantitativo lo más riguroso posible. En ambos perfiles, la conservación de los foraminíferos planctónicos es buena en el Maastrichtiense y regular en el Daniense.

BIOESTRATIGRAFÍA

La biozonación utilizada en este trabajo está basada en las de Molina *et al.* (1996, 1998), cuya comparación con biozonaciones previas puede verse en Arenillas *et al.* (1998). Se han identificado 5 biozonas: Biozona de *Abathomphalus mayaroensis*, Biozona de *Pseudoguembelina hariaensis*, Biozona de *Guembelitra cretacea*, Biozona de *Parvularugoglobigerina eugubina* y Biozona de *Parasubbotina pseudobulloides*. Las dos primeras pertenecen a la parte superior del Maastrichtiense, separadas por la primera aparición (P.A.) de *Pseudoguembelina hariaensis* (Nederbragt, 1991) (Lám. 1, figs. 3 y 4). Debido a que *A. mayaroensis* (Lám. 1, figs. 1 y 2) es rara en la parte terminal del Maastrichtiense (Lamolda, 1985; Keller, 1988), nosotros hemos preferido la utilización de la Biozona de *P. hariaensis* (Lám. 1, figs. 3 y 4) ya que permite establecer una biozonación más detallada y evita los problemas de tipo bioestratigráfico que plantea *A. mayaroensis* en los últimos metros del Maastrichtiense.

Las Biozonas de *Guembelitra cretacea*, *Parvularugoglobigerina eugubina* y *Parasubbotina pseudobulloides* pertenecen al Daniense. La Biozona de *G. cretacea* es una biozona de intervalo comprendida entre las últimas apariciones (U.A.) de *P. hariaensis*

LÁMINA 1—1, 2. *Abathomphalus mayaroensis* (Bolli). Vista axial y umbilical. Muestra Z 0-3. x 150. 3, 4. *Pseudoguembelina hariaensis* Nederbragt. Vista lateral y frontal. Muestra Z -20-23. x 150. 5, 6. *Globotruncana arca* (Cushman). Vista axial y umbilical. Muestra Z -155-165. x 150. 7. *Guembelitra cretacea* Cushman. Vista frontal. Muestra Z +5+10. x 300. 8, 9. *Parvularugoglobigerina longiapertura* (Blow). Vista axial y umbilical. Muestras Z(2) +10+15. x 300. 10, 11. *Parvularugoglobigerina eugubina* (Luterbacher & Premoli Silva). Vista axial y umbilical. Muestra Z +15+22. x 300. 12, 13. *Globoconusa cf. fringa*. Vista umbilical y espiral. Muestra Z +15+22. x 300. 14, 15. *Chiloguembelina morsei* Kline. Vista frontal y lateral. Muestra Z(2) +20+25. x 300. 16, 17. *Globoconusa alticonusa* Li, McGowran y Boersma. Vista umbilical-espiral y espiral. Muestra Z +10+15. x 300. (La escala superior válida para figs. 1-6 y la inferior para figs. 7-17.)



y *A. mayaroensis* (que coinciden con el límite K/T y la extinción principal de especies cretácicas) y la P.A. de *Parvularuglobigerina eugubina* (Lám. 1, figs. 10 y 11), y se corresponde aproximadamente con la P0 de Smit (1982), Keller (1988, 1993) y Berggren *et al.* (1995). La Biozona de *Pv. eugubina* es una biozona de intervalo comprendida entre la P.A. de *Pv. eugubina* y la P.A. de *P. pseudobulloides*, y se corresponde aproximadamente con la P1a de Smit (1982) y Keller (1988, 1993) y la Pa de Berggren *et al.* (1995). Por último, la base de la Biozona de *P. pseudobulloides* se sitúa en la P.A. de la especie homónima y la biozona se corresponde con la P1c de Smit (1982), la P1b de Keller (1988, 1993) y las P1a y P1b de Berggren *et al.* (1995).

TAFONOMÍA

Dentro de la problemática del evento del límite K/T, la presencia de especies cretácicas en la base del Daniense se ha convertido en el núcleo de una de las principales polémicas. En este sentido, Smit (1982, 1990) consideró que tan sólo *G. cretacea* (Lám. 1, fig. 7) y, probablemente, *Hedbergella monmouthensis* y *Globigerinelloides messinae* (= *Globigerinelloides volutus*) lograron sobrevivir al evento del límite K/T, apuntando que la reelaboración era el agente causante de la presencia de especies cretácicas en el Daniense basal. Sin embargo, Keller (1988, 1989) y Canudo *et al.* (1991), estudiando los mismos cortes, indicaron que una buena parte de las especies cretácicas encontradas en la base del Daniense eran supervivientes y no reelaboradas.

Actualmente se tiene constancia de que algunas de las especies consideradas como reelaboradas por Smit (1990), tales como *Heterohelix globulosa* o *Heterohelix navarroensis*, presentan una señal isotópica típica del Terciario (Barrera & Keller, 1990; Keller, 1993; Keller *et al.*, 1993; Keller, 1993; MacLeod & Keller, 1994). Las especies cretácicas cuya persistencia en la base del Daniense ha sido comprobada isotópicamente por estos autores son: *H. globulosa*, *H. navarroensis*, *G. cretacea* y *G. trifolia*. El análisis isotópico es actualmente el mejor criterio de reelaboración, pero puede presentar problemas potenciales como la diagénesis y la ontogénesis (D'Hondt & Zachos, 1993; Smit & Nederbragt, 1997). Además, otros estudios isotópicos en altas latitudes indican la existencia de un amplio retrabajamiento y consideran que sólo *G. cretacea*, *Hedbergella holmdelensis* y *Hedbergella monmouthensis* (Huber, 1996; MacLeod & Huber, 1996) y posiblemente algunas especies adicionales son supervivientes al evento del límite K/T. Estas especies son consideradas a menudo como los ancestros de los que parte la radiación evolutiva de la base del Daniense (Olsson *et al.*, 1992; Liu & Olsson, 1992; Smit & Nederbragt 1997; Berggren & Norris 1997).

Ante la dificultad de utilizar con asiduidad los estudios isotópicos como criterio de reelaboración, se suele tener en cuenta la suma de diversos criterios como el grado de conservación, la aparición inusual de ejemplares de una especie o la comparación con cortes próximos (Molina, 1994; MacLeod, 1994). Keller *et al.* (1995) sugieren que, por su constante presencia en la base del Daniense, deberían incluirse en la lista de posibles supervivientes a *Globigerinelloides aspera* (= *G. prairiehillensis*), *G. subcarinatus*, *G. yaucoensis*, *Heterohelix dentata* (= *H. planata*), *H. striata* (= *H. globulosa*), *H. complanata* (= *H. planata*) y a *Pseudogubbelina costulata*. La presencia de gran parte de estas últimas especies en la base del Daniense ha sido comprobada en trabajos posteriores (Molina *et al.*, 1996, 1998; Apellaniz *et al.*, 1997; Arz & Arenillas, 1998).

El estudio de los dos cortes de Zumaya permite sugerir que la mayoría de los ejemplares de especies cretácicas encontrados en la base del Daniense son reelaborados atendiendo, entre otros criterios, al contraste de color que presentan. En Zumaya, las mar-

gas calcáreas del Maastrichtiense terminal son generalmente rojas y los ejemplares de foraminíferos planctónicos que contienen están coloreados generalmente de rojo. Por el contrario, las margas más basales y las calizas y margocalizas del Daniense basal son blancas o grises y los ejemplares presentan un color gris claro. En los materiales terciarios, se han encontrado ejemplares de color rojo pertenecientes a especies extintas en el límite K/T: *Pseudotextularia nuttalli*, *Planoglobulina acervulinoides*, *P. carseyae*, *Gublerina acuta*, *Racemiguembelina powelli*, *Globotruncanella petaloidea*, *G. havanensis*, *Globotruncana arca* (Lám. 1, figs. 5 y 6), *G. mariei*, *Globotruncanita dupeublei* o *G. stuartiformis*. Incluso se han encontrado ejemplares de la especie *Globotruncana falsostuarti*, la cual se extinguió hacia el tercio superior de la Biozona de *A. mayaroensis* (Arz, 1996). Todos estos ejemplares están coloreados diagenéticamente de rojo y aparecen parcialmente disueltos, por lo que deben ser considerados reelaborados y provenientes de las margas rojas del Maastrichtiense. También se ha podido comprobar la presencia de los estadios juveniles de especies pertenecientes a globotruncánidos (géneros *Globotruncana* y *Globotruncanita*) y heterohelífidos complejos (géneros *Racemiguembelina*, *Planoglobulina* o *Gublerina*) entre los ejemplares rojos reelaborados, pero no se ha encontrado ningún ejemplar juvenil de color gris perteneciente a estos géneros.

Junto a los ejemplares claramente reelaborados de especies cretácicas de morfología compleja, tenemos abundantes ejemplares de 15 especies cretácicas de morfología más sencilla que están coloreados de rojo o de gris claro. No es posible garantizar con seguridad que todos los ejemplares grises de especies cretácicas encontradas en la base del Daniense sean acumulados. Esta indeterminación está ocasionada por la existencia de niveles centimétricos de margas grises intercalados entre las margas rojas del Maastrichtiense superior de Zumaya y la posibilidad de que algunos ejemplares cretácicos de color gris provengan del retrabajamiento de estos niveles. Sin embargo, la comparación con otros cortes del Tethys occidental (Molina *et al.*, 1996, 1998) y la ausencia aparente de ejemplares juveniles de globotruncánidos y heterohelífidos complejos coloreados de gris, permite sugerir que estas 15 especies son posibles supervivientes al evento del límite K/T.

MODELO DE EXTINCIÓN

Una correcta interpretación del evento del límite K/T debe tener en cuenta también otros problemas, como son el efecto Signor-Lipps y el efecto Lázaro (Signor & Lipps, 1982; Molina, 1994, 1995). El estudio de los cortes de Zumaya ha permitido comprobar que en los dos últimos metros se produce la desaparición previa al límite de tan solo *Archeoglobigerina cretacea*, *A. blowi* y *Contusotruncana walfischensis* (Fig. 2), eventos también identificados en el cercano corte de San Sebastián (Arz & Arenillas, 1998). De estas tres especies, podemos asumir que tan solo *A. cretacea* se extingue antes del límite K/T, ya que en cortes del Tethys se ha comprobado que la extinción de *A. blowi* y *C. walfischensis* coincide con dicho límite (Molina *et al.*, 1998). La presencia de especies poco abundantes en los últimos centímetros del Maastrichtiense podría haber pasado desapercibida en una primera aproximación, producto del efecto Signor-Lipps. Este hecho hubiera provocado un falso modelo gradualista para el tránsito Cretácico-Terciario, impidiendo una correcta interpretación del evento del límite K/T. Si no se hubiera realizado la revisión intensiva de todo el residuo, especies como *Rugoglobigerina hexacamerata*, *R. rotundata*, *Globotruncana rosetta*, *G. orientalis*, *Globotruncanita conica*, *Contusotruncana patelliformis*, *C. contusa* y *Racemiguembelina powelli*, cuya abundancia en la

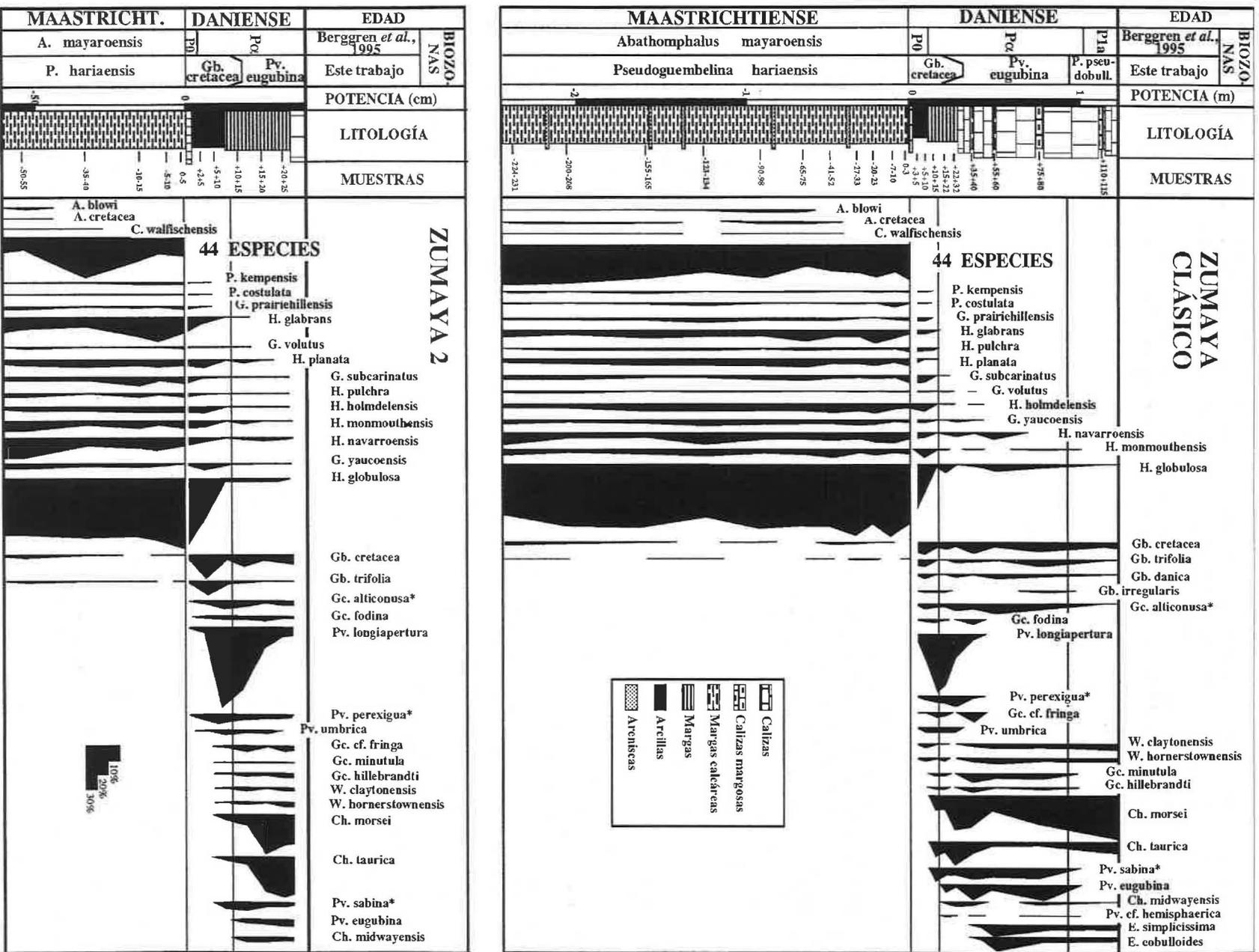


FIGURA 2.—Frecuencia relativa de las especies de foraminíferos planctónicos de la fracción mayor de 63 micras del tránsito Cretácico-Terciario en los cortes de Zumaya clásico y Zumaya 2 (*: modificaciones taxonómicas introducidas con respecto a Arenillas *et al.*, 1998).

fracción superior a 63 micras es muy inferior al 0,3% en los últimos centímetros del Maastrichtiense, podrían haber sido consideradas erróneamente como extintas antes del límite K/T.

También se ha constatado que *A. mayaroensis* está prácticamente ausente en los dos últimos metros del Maastrichtiense en el corte clásico (Lamolda, 1985, 1990; Lamolda *et al.*, 1983), reapareciendo en los últimos centímetros antes del límite. La desaparición previa de esta especie se produce también en otras zonas de la cuenca pirenaica y puede ser debido a un efecto Lázaro (Arz, 1996). En este sentido, Lamolda (1990) observó además otros cambios previos al límite K/T en las asociaciones de foraminíferos planctónicos del corte clásico de Zumaya, tales como un decrecimiento del número de especies y un aumento de los heterohelícidos en los últimos 12 cm del Maastrichtiense. Nuestros datos indican, sin embargo, muy pocos cambios cualitativos o cuantitativos en las asociaciones de foraminíferos planctónicos antes del límite K/T (Fig. 2). El número de especies no varía durante toda la Biozona de *P. hariaensis*, notándose tan solo un pequeño descenso al final del Maastrichtiense.

El modelo de extinción más evidente en el tránsito K/T es la extinción en masa de las especies de foraminíferos planctónicos, que en los cortes de Zumaya se ajusta a un claro modelo catastrofista. Este modelo no es explicable por causas de tipo eustático o volcánico, ya que estas hipótesis implican un intervalo de tiempo más largo. Además, no hay constancia de que estas causas hayan ocasionado en algún momento de la historia geológica una extinción en masa de tipo catastrófico en el grupo de los foraminíferos planctónicos. El modelo de extinción propuesto en el presente trabajo difiere ligeramente del modelo de extinción en masa casi total sugerido por Smit (1982), ya que se propone un mayor número de especies supervivientes al evento del límite K/T. Sin embargo, ambos trabajos coinciden en que las asociaciones por encima y por debajo del límite difieren completamente y en que no hay grandes cambios previos a este límite.

En Zumaya, las especies que se extinguen en coincidencia con el límite K/T son principalmente habitantes de aguas profundas e intermedias, atendiendo a datos de tipo paleoecológico (Barrera & Keller, 1990). Tanto en el perfil clásico como en Zumaya 2 (Arenillas *et al.*, 1998), se ha constatado la extinción de 44 especies coincidiendo con el límite K/T: *Heterohelix labellosa*, *H. punctulata*, *Pseudotextularia nuttalli*, *P. elegans*, *P. intermedia*, *Gublerina acuta*, *G. cuvillieri*, *Pseudoguembelina palpebra*, *P. excolata*, *P. hariaensis*, *Planoglobulina acervulinoides*, *P. carseyae*, *P. multicamerata*, *Racemiguembelina powelli*, *R. fructicosa*, *Globigerinelloides rosebudensis*, *Globotruncanella caravacaensis*, *G. petaloidea*, *G. pschadae*, *G. minuta*, *G. havanensis*, *Rugoglobigerina rugosa*, *R. hexacamerata*, *R. pennyi*, *R. scotti*, *R. macrocephala*, *R. rotundata*, *Schackoina multispinata*, *Globotruncana arca*, *G. aegyptiaca*, *G. orientalis*, *G. rosetta*, *G. mariei*, *Globotruncanella stuarti*, *G. angulata*, *G. stuartiformis*, *G. insignis*, *G. fareedi*, *G. conica*, *G. dupeublei*, *Contusotruncana contusa*, *C. patelliformis*, *Abathomphalus intermedius* y *A. mayaroensis*. La mayoría de estas especies son formas especializadas, grandes, ornamentadas y de estrategia K (Barrera & Keller, 1990; Canudo *et al.*, 1991). En la fracción de 63 micras, estas especies representan alrededor del 20% en abundancia relativa y aproximadamente el 70% de las especies del Maastrichtiense terminal.

El estudio bioestratigráfico de Zumaya y la minimización del efecto de la reelaboración con los criterios de tipo tafonómico comentados anteriormente parecen sugerir la persistencia de 15 especies cretácicas en la parte inferior del Daniense: *Heterohelix planata*, *H. navarroensis*, *H. globulosa*, *H. glabrans*, *H. pulchra*, *Hedbergella monmouthensis*, *H. holmdelensis*, *Globigerinelloides yaucoensis*, *G. subcarinatus*, *G. volutus*, *G. prairiehillensis*, *Pseudoguembelina costulata*, *P. kempensis*, *Guembelitria cretacea* y *Gb. trifolia*. Estas especies son típicamente oportunistas, de

pequeño tamaño y, en general, de hábitat superficial, siendo abundantes en la fracción mayor de 63 micras. Su presencia en la parte inferior del Daniense ha sido constatada en otros cortes del Pirineo y del Tetis (Canudo *et al.*, 1991; Molina *et al.*, 1996, 1998; Arz & Arenillas, 1998). Además, los patrones de extinción de estas especies a lo largo del Daniense basal son similares en todos los cortes mencionados, lo que permite sugerir que estas especies son probables supervivientes al evento del límite K/T. La abundancia relativa de la mayor parte de ellas sufre un descenso en los primeros centímetros del Daniense, probablemente condicionado por la aparición y rápida evolución de las primeras especies del Terciario.

El estudio de cortes pirenaicos permitió establecer diversos episodios de tipo cuantitativo en la base del Daniense, los cuales también pueden reconocerse en otros cortes de las Béticas y Túnez (Molina *et al.*, 1998). Este hecho nos permite sugerir que los dos cortes de Zumaya son continuos (Arenillas *et al.*, 1998). La parte inferior de la Biozona de *G. cretacea* se caracteriza por asociaciones consistentes en las 15 especies cretácicas probablemente supervivientes al evento. En estas asociaciones destaca el incremento en abundancia de los géneros *Guembelitria* y *Hedbergella*. En los cortes de Zumaya, este intervalo está enmascarado en su parte inferior debido a la presencia de un nivel calcítico de 1-2 cm de espesor, seguido de un intervalo de 1-5 cm de espesor que no contiene foraminíferos planctónicos. La parte superior de la Biozona de *G. cretacea* está caracterizada por la menor abundancia de especies cretácicas (10-15%) y un claro dominio de los géneros *Parvularugoglobigerina* y *Globoconusa*.

La Biozona de *Pv. eugubina* está caracterizada por el descenso progresivo de la abundancia de especies cretácicas, las cuales no sobrepasan normalmente el 10% (en la fracción superior a 63 micras). *Parvularugoglobigerina* y *Globoconusa* siguen dominando en la parte inferior de esta biozona, mientras que en su parte superior se observa un incremento progresivo de *Chiloguembelina* (40-60%) y *Guembelitria* (5-15%). Estos dos géneros siguen dominando en la parte inferior de la Biozona de *P. pseudobulloides*, pero van siendo sustituidos progresivamente en importancia por nuevos géneros del Daniense (*Praemurica*, *Parasubbotina*, *Eoglobigerina*, *Globanomalina*, *Globastica*), los cuales dominan durante el Daniense inferior. Los dos últimos episodios han podido ser distinguidos en las calizas del Daniense de Zumaya clásico, aunque el número de ejemplares registrados en estos niveles es muy bajo.

CONCLUSIONES

Los cortes de Zumaya, el clásico y Zumaya 2, presentan una sedimentación continua a lo largo del tránsito Cretácico-Terciario, atendiendo al estudio bioestratigráfico y cuantitativo realizado. Se ha comprobado que 44 especies (aproximadamente el 70%) se extinguen en coincidencia con el límite K/T. Estas especies son las formas de mayor tamaño, de bajas latitudes y habitantes principalmente de aguas profundas e intermedias. Cuantitativamente suponen alrededor del 20% de abundancia relativa dentro de las asociaciones del Maastrichtiense. Previamente al límite K/T no se observan cambios significativos en las asociaciones. La comparación con otros cortes permite sugerir que tan solo *A. cretacea* se extingue en el intervalo estudiado; las desapariciones de *A. blowi* y *C. walfischensis* antes del límite K/T de Zumaya deben considerarse locales. En consecuencia, el patrón de extinción que mejor se ajusta al evento del límite K/T en Zumaya es de tipo catastrofista compatible con la hipótesis del impacto de un gran meteorito.

Por otro lado, el diferente color entre los materiales del Maastrichtiense y del Daniense permite distinguir, debido a su

coloración roja, que la mayoría de los ejemplares de la parte inferior del Daniense son reelaborados. En estos mismos materiales se han encontrado también ejemplares de color gris claro pertenecientes a 15 especies cretácicas simples y oportunistas, los cuales podrían ser considerados como acumulados y las especies como probables supervivientes al evento del límite K/T. Estas especies presentan un modelo de extinción más gradual, que puede estar condicionado por la evolución de las primeras especies de foraminíferos planctónicos del Daniense.

AGRADECIMIENTOS

I. A. disfrutó de una beca FPI del Ministerio de Educación y Cultura (n.º ref. EX96 0016020964) en el Institut und Museum für Geologie und Paläontologie de la Universität Tübingen (Alemania). Este trabajo se ha realizado dentro del proyecto DGES PB97-1016 y del proyecto del Gobierno de Navarra OF/478/92.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ, L. W.; ÁLVAREZ, W.; ASARO, F., y MICHEL, H. V. 1980. "Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction". *Science*, 208, 1095-1108.
- APELLANIZ, E.; BACETA, J. I.; BERNAOLA-BILBAO, G.; NÚÑEZ-BETELU, K.; ORUE-ETXEBARRIA, X.; PAYROS, A.; PUJALTE, V.; ROBIN, E., y RROCCHIA, R. 1997. "Analysis of uppermost Cretaceous-lowermost Tertiary hemipelagic successions in the Basque Country (Western Pyrenees): evidence for a sudden extinction of more than half planktic foraminifer species at the K/T boundary". *Bulletin de la Société Géologique de France*, 168 (6), 783-793.
- ARENILLAS, I.; ARZ, J. A., y MOLINA, E. 1998. "El límite Cretácico/Terciario de Zumaya, Osinaga y Músquiz (Pirineos): control bioestratigráfico y cuantitativo de hiatos con foraminíferos planctónicos". *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 11 (1-2), 127-138.
- ARZ, J. A. 1996. *Los foraminíferos planctónicos del Campaniense y Maastrichtiense: Biostratigrafía, Cronoestratigrafía y Eventos Paleocoológicos*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 419 p. (Inédita.)
- ARZ, J. A. y ARENILLAS, I. 1998. "Extinción en masa catastrófica de foraminíferos planctónicos en el límite Cretácico/Terciario del Pirineo occidental (España)". *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, 8 (2), 146-162.
- BARRERA, E. y KELLER, G. 1990. "Stable isotope evidence for gradual environmental changes and species survivorship across the Cretaceous/Tertiary boundary". *Paleoceanography*, 5, 867-890.
- BERGGREN, W. A. y NORRIS, R. D. 1997. "Biostratigraphy, phylogeny and systematics of Paleocene trochospiral planktic foraminifera". *Micropaleontology*, 43(1), 1-116.
- BERGGREN, W. A.; KENT, D. V.; SWISHER, C. C., III, y AUBRY, M. P. 1995. "A revised Paleogene Geochronology and Chronostratigraphy". En: *Geochronology, Time and Global Stratigraphic Correlation* (Eds. W. A. Berggren et al.), Society of Economic Geologists and Paleontologists, Special Publication, 1-392.
- CANUDO, J. I.; KELLER, G., y MOLINA, E. 1991. "Cretaceous/Tertiary boundary extinction pattern and faunal turnover at Agost and Caravaca, SE Spain". *Marine Micropaleontology*, 17, 319-341.
- D'HONDT, S. y ZACHOS, J. C. 1993. "On stable isotopic variation and earliest Paleocene planktonic foraminifera". *Paleoceanography*, 8 (4), 527-547.
- HILLEBRANDT, A. VON. 1965. "Foraminiferen-Stratigraphie im Alttertiär von Zumaya (Prov. Guipúzcoa, NW Spanien) und ein Vergleich mit anderen Tethys-Gebieten". *Bayerische Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse Abhandlungen*, 123, 1-62.
- HUBER, B. T. 1996. "Evidence for planktonic foraminifer reworking versus survivorship across the Cretaceous-Tertiary boundary at high latitudes". En: *The Cretaceous-Tertiary event and other catastrophes in Earth history* (Eds. Ryder G. et al.), Geological Society of America Special Paper, vol. 307, pp. 319-334.
- KELLER, G. 1988. "Extinction, survivorship and evolution of Planktic Foraminifera across the Cretaceous/Tertiary boundary at El Kef, Tunisia". *Marine Micropaleontology*, 13, 239-263.
- . 1989. "Extended period of extinctions across the Cretaceous/Tertiary boundary in planktonic foraminifera of continental-shelf sections: Implications for impact and volcanism theories". *Geological Society of America Bulletin*, 101, 1408-1419.
- . 1993. "The Cretaceous-Tertiary boundary transition in the Antarctic Ocean and its global implications". *Micropaleontology*, 21, 1-45.
- . 1997. "Analysis of El Kef blind test I". *Marine Micropaleontology*, 29, 89-93.
- KELLER, G.; BARRERA, E.; SCHMITZ, B., y MATTSON, E. 1993. "Long-term oceanic instability but no mass extinction or major δ^{13} shift in planktic foraminifera across the Cretaceous/Tertiary boundary in Northern high latitudes: Evidence from Nye Klov, Denmark". *Geological Society of America Bulletin*, 105, 979-977.
- KELLER, G.; LI, L., y MACLEOD, N. 1995. "The Cretaceous/Tertiary boundary stratotype sections at El Kef, Tunisia: How catastrophic was the mass extinction?". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 119, 221-254.
- LAMOLDA, M. A. 1985. "Biostratigraphie du Maastrichtien basco-cantabrique; ses foraminifères planctoniques". *Géologie Méditerranéenne*, 10 (3-4) (1983), 121-126.
- . 1990. "The Cretaceous-Tertiary boundary crisis at Zumaya (northern Spain) micropaleontological data". En: *Lecture Notes in Earth Sciences, Extinction events in Earth History* (Eds. Kauffman, E. G. and Walliser, O. H.), 30, 393-399.
- LAMOLDA, M. A.; ORUE-ETXEBARRIA, X., y PROTO-DECIMA, F. 1983. "The Cretaceous-Tertiary boundary in Sopelana (Biscay, Basque Country)". *Zitteliana*, 10, 663-670.
- LIU, C. y OLSSON, R. K. 1992. "Evolutionary radiation of microperforate planktonic foraminifera the K/T mass extinction event". *Journal of Foraminiferal Research*, 22 (4), 328-346.
- LUTERBACHER, H. P. y PREMOLI SILVA, I. 1964. "Biostratigrafia del limite Cretaceo-Terziario nell'Apennino Centrale". *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 70 (1), 67-128.
- MACLEOD, K. G. y HUBER, B. T. 1996. "Strontium isotopic evidence for extensive reworking in sediments spanning the Cretaceous-Tertiary boundary at ODP Site 738". *Geology*, 24 (5), 463-466.
- MACLEOD, N. 1994. "An evaluation of criteria that may be used to identify species surviving a mass extinction". *Lunar and Planetary Institute Contributions*, 825, 75-77.
- MACLEOD, N. y KELLER, G. 1994. "Comparative biogeographic analysis of planktic foraminiferal survivorship across the Cretaceous/Tertiary boundary". *Paleobiology*, 20, 143-177.
- MOLINA, E. 1994. "Aspectos epistemológicos y causas de la extinción". En: *Extinción y registro fósil. Extinction and the fossil record* (Ed. Molina, E.), SIUZ Cuadernos Interdisciplinarios, 5, 11-30.
- . 1995. "Modelos y causas de extinción masiva". *Interciencia*, 20 (2), 83-89.
- MOLINA, E.; ARENILLAS, I., y ARZ, J. A. 1996. "The Cretaceous/Tertiary boundary mass extinction in planktic foraminifera at Agost (Spain)". *Revista de Micropaleontología*, 39 (3), 225-243.
- . 1998. "Mass extinction in planktic foraminifera at the Cretaceous/Tertiary boundary in subtropical and temperate latitudes". *Bulletin de la Société Géologique de France*, 169 (3), 351-363.
- NEDERBRAGT, A. J. 1991. "Late Cretaceous biostratigraphy and development of Heterohelicidae (planktic foraminifera)". *Micropaleontology*, 37 (4), 329-372.
- OLSSON, R. K. y LIU, Ch. 1993. "Controversies on the placement of Cretaceous-Paleogene boundary and the K/P mass extinction of planktonic foraminifera". *Palaaios*, 8, 127-139.
- OLSSON, R. K.; HEMLEBEN, C.; BERGGREN, W., y LIU, C. 1992. "Wall texture classification of planktonic foraminifera genera in the Lower Danian". *Journal of Foraminiferal Research*, 22 (3), 195-213.
- PARDO, A.; ORTIZ, N., y KELLER, G. 1996. "Latest Maastrichtian and Cretaceous-Tertiary boundary foraminiferal turnover and environmental changes at Agost, Spain". En: *Cretaceous-Tertiary mass extinctions. Biotic and environmental changes* (Eds. MacLeod, N. y Keller, G.), W. W. Norton & Company. New York-London, pp. 139-171.
- SIGNOR, P. W. y LIPPS, J. H. 1982. "Sampling bias, gradual extinction patterns and catastrophes in the fossil record". *Geological Society of America Special Paper*, 190, 291-296.

- SMIT, J. 1982. "Extinction and evolution of planktonic foraminifera after a major impact at the Cretaceous/Tertiary boundary". *Geological Society of America Special Paper*, 190, 329-352.
- . 1990. "Meteorite impact, extinctions and the Cretaceous-Tertiary boundary". *Geologie en Mijnbouw*, 69, 187-204.
- SMIT, J. Y HERTOGEN, J. 1980. "An extraterrestrial event at the Cretaceous-Tertiary boundary". *Nature*, 285, 198-200.
- SMIT, J. Y NEDERBRAGT, A. J. 1997. "Analysis of the El Kef blind test II". *Marine Micropaleontology*, 29, 95-100.

MANUSCRITO RECIBIDO: 7-X-1998
MANUSCRITO ACEPTADO: 24-V-1999