LOS EFECTOS TAFONÓMICO Y «SIGNOR-LIPPS» SOBRE LA EXTINCIÓN EN MASA DE FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS EN EL LÍMITE CRETÁCICO/TERCIARIO DE ELLES (TUNICIA)

J. A. Arz¹, I. Arenillas^{2,3}, E. Molina² y Ch. Dupuis⁴

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.
 ³Institut und Museum für Geologie und Paläontologie, Universität Tübingen, D-72076 Tübingen, Alemania.
 ⁴ Laboratoire de Géologie fondamentale et appliquée, Faculté Polytechnique de Mons, B-7000 Mons, Bélgica.

Resumen: La problemática sobre el modelo de extinción de foraminíferos planctónicos en el límite Cretácico/Terciario (K/T) es principalmente consecuencia de problemas tafonómicos (reelaboración) y metodológicos (efecto «Signor-Lipps»). El estudio comparativo con varios cortes del límite K/T de latitudes subtropicales y templadas y la minimización de los problemas tafonómicos y metodológicos revelan un modelo de extinción en masa catastrófica global de los foraminíferos planctónicos coincidiendo con el límite K/T y las evidencias de impacto meteorítico. El corte de Elles es uno de los cortes marinos más expandidos del tránsito K-T conocidos hasta la fecha, en el que la arcilla del límite presenta una potencia de 60 cm. La base de la arcilla del límite consiste en 3 cm de arcillas amarillas azoicas con cuarzo, óxidos de hierro y jarosita, muy similar a los niveles que contienen la anomalía de lr en cortes próximos (El Kef, Aïn Settara, Agost, Caravaca). Se han identificado en Elles un descenso de δ^{13} C, un incremento del carbono orgánico total (COT) y un descenso del %CaCO₃ en coincidencia con la extinción en masa de las especies cretácicas. La extinción de foraminíferos planctónicos en el tránsito K-T sigue un patrón de extinción en masa catastrófica, en el que 2 (3%) especies desaparecen antes del límite K/T, 45 (71%) especies se extinguen en coincidencia con límite K/T y 16 (25%) especies son posiblemente supervivientes al límite desapareciendo en la parte inferior del Daniense. La casi ausencia de extinciones previas al límite K/T y la estabilidad de las asociaciones faunísticas del Maastrichtiense Superior contradicen el patrón de extinción gradual de algunos autores. Por otro lado, en la parte inferior del Daniense, se observa un descenso paulatino de las especies cretácicas excepto en Guembelitria, consideradas como «supervivientes» y la aparición de nuevas especies paleocenas siguiendo un patrón de radiación evolutiva. Independientemente de que se demuestre la supervivencia de 16 especies cretácicas, la extinción en masa y la radiación evolutiva identificadas son las más importantes de la historia evolutiva de los foraminíferos planctónicos y son muy compatibles con la teoría del impacto meteorítico.

Palabras clave: Bioestratigrafía, Tafonomía, Análisis Cuantitativo, Maastrichtiense, Daniense

Abstract: The controversy about the planktic foraminiferal extinction model at the Cretaceous/Tertiary boundary (K/T) is mainly a consequence of taphonomical (reworking) and methodological (Signor-Lipps effect) problems. The comparative study with several K/T sections from subtropical and temperate latitudes and the minimization of the taphonomical and methodological problems, reveal a catastrophic mass extinction of planktic foraminifera in coincidence with the impact evidence at the K/T. Elles is one of the most expanded marine sections known so far, since the boundary clay is 60 cm thick. Its base consists of 3 cm of azoic yellowish clay with quartz, iron oxides and jarosite, which is very similar to the level of the Ir anomaly in other close sections (El Kef, Aïn Settara, Agost, Caravaca). The catastrophic mass extinction coincides at Elles with the shift in δ^{13} C, the increase in total organic carbon (TOC) and the decrease in %CaCO₁. The main pattern of extinction in planktic foraminifera along the K-T transition is sudden and catastrophic, since only 2 (3%) of the species disappeared in the terminal Cretaceous, 45 (71%) of the species became extinct at the K/T and 16(25%) of the species range into de Early Tertiary and could be considered as possible survivors. The scarcity of extinction and the great stability of the assemblages during the Late Maastrichtian contradict the gradual model of extinction of some authors. Furthermore, a gradual decrease (except in Guembelitria) of Cretaceous species in the Early Danian is observed, which could be considered «survivors», and new Tertiary species evolve in an adaptative radiation. Despite the possibility that 16 species could survive, the catastrophic mass extinction and the subsequent radiation are the most relevant in the history of planktic foraminifera and are very compatible with the theory of the extraterrestrial asteroid impact.

Key words: Biostratigraphy, Taphonomy, Quantitative analysis, Maastrichtian, Danian

Arz, J.A., Arenillas, I., Molina, E. y Dupuis, Ch. (1999): Los efectos tafonómico y «Signor-Lipps» sobre la extinción en masa de foraminíferos planctónicos en el límite Cretácico/Terciario de Elles (Tunicia). *Rev. Soc. Geol. España*, 12(2): 251-267

El estudio de los foraminíferos planctónicos del tránsito Cretácico-Terciario (K-T) se ha convertido en la actualidad en un problema paleontológico muy controvertido, ya que se cuestionan aspectos fundamentales de la metodología micropaleontológica (Glen, 1994; Molina, 1994, 1995; MacLeod, 1994, 1996; Ginsburg, 1997; Pardo et al., 1997; Arz et al., 1998; Arenillas et al., en prensa). El límite Cretácico/Terciario (K/T) representa una de las mayores extinciones en masa de la historia geológica y los foraminíferos planctónicos fueron uno de los grupos más afectados, habiéndose registrado la extinción en masa catastrófica de más del 70% de las especies (Molina et al., 1996, 1998). No obstante, todavía sigue abierto el debate sobre si la extinción se ajusta mejor a un modelo más catastrofista (Smit, 1982, 1990; Lamolda et al., 1983, 1997; Lamolda, 1990; Liu y Olsson, 1992; Olsson y Liu, 1993; Molina et al., 1996, 1998; Olsson, 1997; Orue-Etxebarría, 1997; Apellaniz et al., 1997; Smit y Nederbragt, 1997) o más gradualista (Keller, 1988, 1989a,b, 1997; Canudo et al., 1991; Keller et al., 1993, 1995; MacLeod y Keller, 1994; Canudo, 1997; Masters, 1997; Pardo et al., 1996; Abramovich et al., 1998).

La hipótesis gradualista se apoya principalmente en la existencia de desapariciones previas al límite K/T, que podrían indicar cambios paleoceanográficos y paleoclimáticos globales antes del evento del límite (Brinkhuis y Zachariasse, 1988; Keller, 1988; Canudo et al., 1991; Keller et al., 1995; Pardo et al., 1996). Sin embargo, la existencia de desapariciones previas al límite K/T generalizadas a nivel mundial se ha puesto en duda en numerosas ocasiones (Smit, 1990; Olsson y Liu, 1993; Molina et al., 1996, 1998; Smit and Nederbragt, 1997; Apellaniz et al., 1997; Arz y Arenillas, 1998; Arenillas et al., 1998, en prensa), debido a la falta de intensidad en el muestreo y estudio (Signor y Lipps, 1982; Molina, 1994, 1995). Otro de los factores principales que ocasiona este debate es el tafonómico, va que todavía no existe un total acuerdo sobre si las especies cretácicas de foraminíferos planctónicos encontradas en la base del Daniense deben considerarse reelaboradas (Smit, 1982, 1990; Liu y Olsson, 1992; Olsson y Liu, 1993; Smit y Nederbragt, 1997) o supervivientes y extintas en la parte inferior del Daniense (Keller, 1988, 1989a,b, 1997; Canudo et al., 1991; Keller et al., 1993, 1995: MacLeod y Keller, 1994).

Estos dos efectos son muy importantes, puesto que han motivado la larga controversia entre los investigadores que apoyan una hipótesis más catastrofista, liderados por Smit (1982, 1990), y los que mantienen una interpretación más gradual, liderados por Keller (1988, 1989a,b). Si finalmente fuera comprobado que existen extinciones pre-K/T, éstas podrían estar relacionadas con las extinciones graduales post-K/T y ser causadas por cambios eustáticos y volcánicos durante todo el tránsito Cretácico-Terciaro (Canudo et al., 1991). En este caso, el evento de límite K/T representaría simplemente una aceleración de las extinciones dentro de un patrón de extinción en masa gradual (Keller et al., 1995). Si por el contrario se demuestra que no hay grandes cambios previos al límite, y que los cambios más importantes acontecen siempre justo en el límite y por encima del mismo (Molina et al., 1998), entonces serían más compatibles con la famosa hipótesis del impacto meteorítico (Alvarez et al., 1980). Por otro lado, el problema tafonómico de la reelaboración se ha convertido en el principal problema (Gingsburg, 1997) y es muy difícil de solventar debido a la ausencia de un criterio de reelaboración visual sencillo.

Con el objetivo de evaluar la magnitud de las extinciones previas al límite K/T y los problemas tafonómicos que existen por encima del límite, hemos estudiado



Figura 1.- Situación paleogeográfica del corte de Elles y de otros cortes tunecinos (modificado de Burollet, 1967).



Figura 2.- Comparación de la biozonación utilizada en este trabajo con otras biozonaciones del tránsito Cretácico-Terciario,

los foraminíferos planctónicos del corte de Elles (Tunicia). Este corte es uno de los más expandidos del tránsito K-T conocidos hasta la fecha y es comparable al corte estratotípico de El Kef. El estudio bioestratigráfico, tafonómico y cuantitativo puede permitir precisar el patrón de extinción en el corte de Elles. Con la finalidad de confirmar el modelo global de extinción de los foraminíferos planctónicos en el tránsito K-T, se han comparado los resultados de Elles con algunos de los cortes del Tetis más expandidos conocidos hasta la fecha (El Kef, Agost, Caravaca y Aïn Settara).

Localización, materiales y métodos

El corte de Elles está situado entre las localidades de Houch el Balti y Elles, a unos 3 km al E de Elles (centro-NE de Tunicia). El corte aflora en la orilla derecha del barranco Oued el Karma, entre las crestas Argoub El Aïacha y Jebel Madhkour (W del sinclinal de Elles). En Argoub El Aïacha aflora la formación Abiod, compuesta de unos 717 metros de calizas de edad Campaniense-Maastrichtiense, y en Jebel Madhkour afloran unos 883 m de calizas fosfáticas del Eoceno Inferior (Said, 1978). Entre ambas se halla la formación El Haria que consiste en 225 m de margas y calizas micríticas de edad Maastrichtiense Superior y Paleoceno (Said, 1978). Paleogeográficamente, se encontraría situado en la plataforma tunecina al norte de la Isla de Kasserine (Burollet, 1967) y el medio tendría una profundidad aproximada de unos 100 a 200 m (Fig. 1). El tránsito K-T de Elles se situa dentro de la formación El Haria (Karoui y Zaghbib-Turki, 1998).

En el intervalo estratigráfico estudiado pueden distinguirse 4 unidades litológicas. La primera unidad (U1) consiste en 1 m de margas grises y azules de edad Maastrichtiense Superior, las cuales se encuentran bioturbadas en su parte superior. La segunda unidad (U2) consiste en 3 cm de arcillas amarillas azoicas (base de la arcilla del límite K/T) con cuarzo, óxidos de hierro y jarosita (muestra AEA-1.00). En esta unidad se ha evidenciado un descenso del %CaCO₃ y un incremento del carbono orgánico total (COT). La tercera unidad (U3) consiste en 60 cm de arcilla oscura con nódulos de jarosita. Las unidades U2 y U3 representan la arcilla de límite K/T en Elles. La cuarta unidad (U4) consiste en 6 m de margas y arcillas bioturbadas con jarosita. El límite K/T se situa en el límite entre las unidades U1 y U2.

El corte de Elles ha sido muestreado en intervalos que varían entre 2 a 10 cm en las proximidades del límite K/T y en intervalos de 10 a 50 cm en el resto del corte. Se han estudiado un total de 30 muestras, las cuales fueron disgregadas en agua con la ayuda de H_2O_2 , levigadas con un tamiz de 63 µm, tratadas con ultrasonidos y secadas con una estufa a menos de 50°C. El análisis cuantitativo ha sido realizado basándose en una fracción representativa de más de 300 ejemplares por cada muestra. Posteriormente ha sido analizado el resto del residuo con el objetivo de buscar las especies raras o poco abundantes. Los ejemplares de cada muestra han sido montados en celdillas múltiples, permitiendo su conservación y su posterior revisión. La búsqueda de especies raras se ha realizado en las fracciones superiores a 63, 100 y 150 μ m, con el objetivo de minimizar el efecto «Signor-Lipps». La conservación de los foraminíferos planetónicos es buena y son abundantes en todas las muestras.

Bioestratigrafía y posición del límite K/T

La biozonación seguida en este trabajo está basada en la biozonación de bajas latitudes de Molina et al. (1996), la cual constituye una ligera modificación de biozonaciones previas (Bolli, 1957, 1966). Se han identificado las Biozonas de Plummerita hantkeninoides, Guembelitria cretacea, Parvularugoglobigerina eugubina y Parasubbotina pseudobulloides (Fig. 2). La base de las Biozonas de P. hantkeninoides, Pv. eugubina y P. pseudobulloides se situan en la primera aparición de las especies del mismo nombre (Fig. 3). Por otro lado, la base de la Biozona de G. cretacea se corresponde con las últimas apariciónes de Plummerita hantkeninoides y de Abathomphalus mayaroensis, que coinciden precisamente con el límite K/T y la extinción de más del 70% de las especies del Maastrichtiense Superior (Fig. 4). En la figura 2 se indica la biozonación seguida en el presente trabajo en comparación con otras biozonaciones del tránsito K-T (Bolli, 1957, 1966; Blow, 1979; Smit, 1982; Keller, 1988, 1993; Canudo et al., 1991; Berggren et al., 1995; Pardo et al., 1996; Apellaniz et al., 1997).

Para situar la base de la Biozona de Pv. eugubina hemos tenido en cuenta las diferencias taxonómicas entre Pv. eugubina y Pv. longiapertura (Fig. 3) y por tanto esta biozona no debe ser confundida con las Biozonas P1a de Smit (1982) y Keller (1988). Pv. longiapertura ha sido utilizada erróneamente para situar la base de la Biozona de Pv. eugubina, desde que Smit (1982) considerara sinónimas ambas especies. Sin embargo, existen diferencias taxonómicas que permiten separarlas en especies diferentes (Luterbacher y Premoli Silva, 1964; Blow, 1979; Canudo et al., 1991; Keller, 1993; Keller et al., 1995; Arenillas y Arz, 1996). Si otros autores prefieren utilizar la primera aparición de Pv. longiapertura, sería más correcto utilizar la Biozona de Pv. longiapertura de Canudo et al. (1991) y Apellaniz et al. (1997). La distribución estratigráfica de los foraminíferos planctónicos identificados en el corte de Elles se muestra en la figura 4 y su abundancia relativa en la fracción superior a 63 µm en la figura 5.

El límite K/T fue definido en la base de la arcilla del límite en El Kef y es reconocido por una anomalía de Ir, un incremento de espinelas ricas en Ni, un incremento del COT, un descenso del δ^{13} C y del %CaCO₃ y la existencia de microtectitas y cuarzo de impacto. Un límite debe ser situado en la base del nivel-guía aceptado por la Subcomisión Internacional de Estratigrafía y no en función de los elementos que caracterizan dicho nivel. Por ejemplo, el límite K/T no es simplemente el nivel con la anomalía de Ir, sino la base del nivel que contiene todas las anomalías geoquímicas e isótopicas anteriormente comentadas. Si todas estas anomalías son el producto de un impacto meteorítico de acuerdo con la hipótesis de Alvarez et al. (1980), el Ir debió concentrarse durante el intervalo de calma que siguió al episodio de alta energía representado por los depósitos de impacto (microtectitas y cuarzos de impacto) y de tsunami (depósitos clásticos en las áreas circundantes). El orden de registro de los diferentes elementos que caracterizan el nivel-guía del límite K/T debería ser aproximadamente el siguiente: 1) tectitas, microtectitas, cuarzo de impacto y otras evidencias de impacto; 2) depósitos originados por un probable tsunami en las áreas circundantes al impacto; 3) anomalía de Ir y otros elementos siderófilos e incremento de espinelas ricas en Ni; 4) descenso de δ^{13} C y del %CaCO₃ y el incremento del COT (Smit et al., 1992; Bralower et al., 1998). El registro o la identificación de los elementos 1 y 2 serían tanto más díficiles cuanto más lejos del lugar de impacto estuviera el corte. Los elementos 3 se encontrarían preferentemente en la base de la arcilla del límite, mientras que los elementos 4 serían detectados a lo largo de la arcilla del límite.

La extinción en masa debería registrarse en coincidencia con la base del nivel que contenga las primeras evidencias de impacto y tan sólo las conchas de las pocas especies supervivientes o de los ejemplares reelaborados deberían ser registrados en o por encima de la arcilla del límite. Finalmente se registraría la aparición de nuevas especies paleocenas, siempre después de un intervalo de tiempo suficiente para que la evolución actúe. Los elementos descritos pueden estar ausentes total o parcialmente en un corte dependiendo de su distancia al posible impacto, de su profundidad o por la presencia de un hiato. Los elementos pueden estar más o menos mezclados dependiendo de la condensación del corte estudiado. Un claro ejemplo de corte condensado es Gubbio (Arenillas, 1998), que es el corte donde se evidenció por primera vez la extinción en masa de los foraminíferos planctónicos en coincidencia con las evidencias de impacto (Luterbacher y Premoli Silva, 1964; Alvarez et al., 1980). Todos o parte de los elementos descritos también pueden estar aparentemente mezclados en cortes más expandidos y continuos, ya

Figura 3.- Imágenes de Microscopio Electrónico de Barrido de las especies biozonales utilizadas en el presente trabajo y otras especies de interés bioestratigráfico (Barras horizontales blancas = 100 micras): 1, 2, 3: Plummerita hantkeninoides (Brönnimann), Lado dorsal, axial y ventral. Muestra AEA 0.98. Biozona de Plummerita hantkeninoides; 4, 5: Abathomphalus mayaroensis (Bolli). Lado axial y ventral, Muestra AEA 0.98. Biozona de Plummerita hantkeninoides; 6, 8, 9: Parvularugoglobigerina eugubina (Luterbacher and Premoli Silva). Lado axial, dorsal y ventral, Muestra AEA 5,50. Biozona de Parvularugoglobigerina eugubina; 7, 10, 11: Parvularugoglobigerina longiapertura (Blow). Lado axial, ventral y dorsal, Muestra AEA 3,50, Biozona de Parvularugoglobigerina eugubina; 12, 13: Guembelitria cretacea (Cushman). Lado apical y frontal, Muestra AEA 1,50, Biozona de Guembelitria cretacea; 14, 15, 16: Parasubbotina pseudobulloides (Plummer). Lado ventral, axial y dorsal. Muestra AEA 6.60, Biozona de Parasubbotina pseudobulloides.



Rev.Soc.Geol.España, 12(2), 1999



Figura 4.- Distribución estratigráfica de los foraminíferos planctónicos del tránsito Cretácico-Terciario de Elles. Trazo fino significa especie identificada en la muestra y trazo grueso significa especie identificada en la fracción representativa superior a 63 µm.

que la formación de estos elementos requirió muy poco tiempo en la escala geológica. En cortes lejanos al área de impacto, como el de Elles y otros cortes expandidos del Tetis, no han sido evidenciados por el momento depósitos originados por tsunami y los elementos 1 y 3 suelen estar condensados en la base de la arcilla del límite. Por tanto, el límite K/T debería ser situado en la base del conjunto de niveles que contiene las anomalías mineralógicas, geoquímicas e isótopicas dando prioridad, si se ha registrado, a la base del nivel que contiene las primeras evidencias de impacto (microtectitas y cuarzo de impacto).

En Elles, la arcilla del límite tiene una potencia de 50 a 60 cm y hasta el momento han sido detectados el descenso de δ^{13} C (Stüben 'et al., 1998), el incremento del COT y el descenso del %CaCO3 iniciándose en las arcillas amarillas de la unidad U2 (muestra AEA-1.00, Fig. 6). No obstante, la U2 es equivalente a los depósitos de la parte inferior de la arcilla del límite K/T en El Kef y Aïn Settara, donde se han evidenciado el resto de anomalías mineralógicas, isotópicas y geoquímicas (Smit y Klaver, 1981; Smit, 1982; Keller, 1988; Robin et al., 1991; Keller et al., 1995; Dupuis et al., en prensa). En esta unidad se observa un incremento del porcentaje de cuarzo detrítico como ocurre en la parte inferior del Daniense de los cortes tunecinos de Aïn Settara (Dupuis et al., en prensa) y Seldja (Stinnesbeck et al., 1998). En un corte muy cercano al estudiado (Elles 2), Stinnesbeck et al. (1998) han identificado un depósito bioclástico canalizado entre la unidad U1 y la unidad U2. Este nivel bioclástico no ha sido identificado en Elles. Por el momento, tampoco se han identificado depósitos similares en otros intervalos estratigráficos tanto en Elles como en Elles 2. Este depósito bioclástico podría ser explicado como un episodio singular de alta energía en un medio de talud superior y podría ser consecuencia indirecta de la presumible ola «tsunami» ocasionada tras el impacto meteorítico del límite K/T. En este caso, el nivel bioclástico debería ser situado biostratigráficamente en la parte inferior de la Biozona de G. cretacea y el límite K/T de Elles 2 en la base de este nivel. Sin embargo, Stinnesbeck et al. (1998) han indicado que esta unidad no presenta las características físicas de un depósito de ola «tsunami» y que pertenece a la Biozona de *P. hantkeninoides* por debajo del límite K/T.

Bioestratigráficamente, el límite K/T ha sido situado en ocasiones coincidiendo con la primera aparición de especies paleocenas. Sin embargo, este criterio es considerado en el presente trabajo como erróneo debido a que la evolución de las primeras especies del Paleoceno acontece siempre en la parte media-inferior de la Biozona de *G. cretacea* (Molina *et al.*, 1996, 1998; Arz y Arenillas, 1998; Arenillas *et al.*, 1996; Dupuis *et al.*, en prensa). De acuerdo con la definición original de la Biozona P1a (Smit, 1982) o la Biozona de *Pv. longiapertura* de Canudo *et al.* (1991), las especies paleocenas aparecerían aproximadamente coincidiendo con el límite inferior de dichas biozonas y no con el límite K/T (Smit, 1990; Keller, 1988, 1989a,b; D'Hondt, 1991; Canudo *et al.*, 1991). Esta fue la principal razón para definir la Biozona P0 y separarla de la Biozona de «*G. eugubina*» de Luterbacher y Premoli Silva (1964). En Elles, la primera aparición de *Gc. alticonusa* ha sido identificada con seguridad a 35 cm del límite K/T, aunque formas intermedias con *Gb. trifolia* han sido identificadas a 25 cm del límite.

La extinción en masa catastrófica de las especies cretácicas de foraminíferos planctónicos, que en Elles representa el 70% de las especies, debería ser el criterio fundamental para situar bioestratigráficamente el límite K/T porque es el evento microfaunístico más importante en medios marinos y coincide con las anomalías mineralógicas, geoquímicas e isotópicas que caracterizan dicho límite. Este criterio ha sido rechazado por Keller et al. (1995) bajo la asunción de que la extinción catastrófica fue únicamente observada en cortes con hiatos (MacLeod y Keller, 1991a,b; Keller et al., 1993) y que en realidad existe un modelo de extinción más gradual. Sin embargo, aunque es posible la existencia de unas 10-16 especies cretácicas supervivientes al evento del límite K/T, la extinción en masa catastrófica ha sido registrada en los cortes más continuos conocidos hasta la fecha, tales como Elles, El Kef, Aïn Settara, Agost, Caravaca, Zumaya y San Sebastián (Molina et al., 1996, 1998; Arz y Arenillas, 1998; Arenillas et al., 1998; Zaghbib et al., 1998; Arz et al., en prensa; Dupuis et al., en prensa).

Estudio cuantitativo y tafonómico

Las asociaciones de foraminíferos planctónicos en el Maastrichtiense terminal de Elles están muy diversificadas y pertenecen a asociaciones de latitudes bajas (Fig. 4). Se han identificado un total de 63 especies cretácicas pertenecientes a 16 géneros. Dichas asociaciones están dominadas por el género Heterohelix en la fracción superior a 63 µm y más concretamente por la especie H. globulosa, la cual presenta una media de más del 50% en abundancia relativa (Fig. 5). El análisis cuantitativo muestra una gran estabilidad de las asociaciones de foraminíferos planctónicos en el último metro del Maastrichtiense (Fig. 6), indicando la ausencia de cambios paleoecológicos y evolutivos importantes justo antes del límite K/T. La última aparición de Gublerina acuta y Contusotruncana contusa se produce antes del límite, pero estas 2 especies representan poco más del 3% del número total de especies cretácicas. Además, C. contusa ha sido corrientemente identificada hasta el final de Maastrichtiense en la mayor parte de los cortes estudiados (Molina et al., 1998; Arz y Arenillas, 1998; Dupuis et al., en prensa; Arenillas et al., en prensa), por lo que dicha desaparición debe considerarse como local. Por el contrario, la desaparición de G. acuta antes del límite parece ser común en casi todos los cortes y puede hablarse de su extinción antes del límite. Coincidiendo con el límite K/T, se produce la extinción de 45 especies y 11 géneros, que representan





más del 71% de las especies y más del 68% de los géneros (Fig. 4 y 5). Los 11 géneros que se extinguen en el límite K/T son: *Pseudotextularia, Gublerina, Planoglobulina, Racemiguembelina, Globotruncanella, Plummerita, Rugoglobigerina, Abathomphalus, Globotruncana, Globotruncanita y Contusotruncana.*

Uno de los principales debates sobre la micropaleontología del límite K/T es la tafonomía y en concreto la posible existencia de reelaboración de ejemplares de especies cretácicas en la base del Daniense (Molina, 1994, 1995; Ginsburg, 1997; Keller, 1998; Smit y Nederbragt, 1997). Dependiendo de la interpretación tafonómica, estos ejemplares han sido considerados como reelaborados (Smit, 1982) o simplemente acumulados (Keller, 1988). Este debate surge porque generalmente no existe un criterio visual sencillo en Micropaleontología para discernir unos ejemplares de otros. Inicialmente se consideró que todos o casi todos estos ejemplares eran reelaborados y por consiguiente que ninguna especie, excepto G. cretacea, sobrevivió al evento del límite K/T (Smit 1982, 1990). Posteriormente, se mostró que algunas de las especies cretácicas encontradas en la parte inferior del Daniense, inicialmente consideradas por Smit (1982) como reelaboradas, presentaban una señal isotópica (δ^{18} O y δ^{13} C) del Paleoceno y debían ser consideradas como supervivientes (Barrera y Keller, 1990, 1994; Keller et al., 1993; Keller, 1993; Huber, 1996; MacLeod y Huber, 1996). Sin embargo, la existencia de ejemplares cretácicos reelaborados puede ser relativamente frecuente en las primeras muestras del Daniense, sin existir evidencias claras de que los niveles donde se han tomado las muestras estén retrabajados (Arz et al., en prensa). La presencia de ejemplares reelaborados en la base del Daniense ha sido comprobada también isotópicamente (Huber, 1991, 1996; Kaiho y Lamolda, en prensa). Por otro lado, la resedimentación de ejemplares también puede ser muy común y de hecho casi todo lo que consideramos como acumulado en micropaleontología puede tener un cierto grado de resedimentación. Por esta razón, en micropaleontología no se suele identificar o separar ejemplares acumulados y resedimentados, aun cuando la resedimentación pueda reconocerse por la presencia de fracturas. Generalmente, los ejemplares resedimentados se incluyen en los estudios cuantitativos, excepto cuando la fracturación impide una identificación taxonómica fiable.

Para minimizar el problema potencial de la reelaboración, se consideran generalmente reelaborados los ejemplares aislados que sean de diferente color o tengan diferente conservación. La comparación con otros cortes cercanos y similares puede ser también muy útil para distinguir ejemplares reelaborados, ya que se pueden asumir como reelaboradas aquellas especies que, aún no teniendo claros síntomas de reelaboración, sólo se han registrado de forma aislada en un corte (Arz y Arenillas, 1998; Arz *et al.*, en prensa). Es posible aducir que la ausencia de una especie en unos cortes y no en otros puede ser una consecuencia de factores regionales de tipo paleoceanográfico y paleoecológico (KeIler, 1988, 1989b; Keller *et al.*, 1993, 1995). Sin embargo, estos factores no pueden ser aplicados cuando los cortes marinos pelágicos se encuentran muy cercanos entre sí dentro de una misma cuenca, o bien en cuencas paleoceanográficamente conectadas, y con latitudes y profundidad similares. La ausencia de una especie en un corte y la presencia de ejemplares aislados de dicha especie en otro corte puede significar reelaboración de estos últimos ejemplares.

En el corte de Elles se han aplicado todos estos criterios para minimizar el efecto de la reelaboración. Así por ejemplo, en la muestra AEA-1.02, segunda muestra del Daniense en Elles y perteneciente a la unidad U3, se han encontrado ejemplares de una gran cantidad de especies cretácicas que presentan diversos síntomas de reelaboración. Se han considerado como ejemplares acumulados en AEA-1.02 a ejemplares de unas 16 especies cretácicas, pues presentan una conservación buena y similar a la norma general de los ejemplares acumulados encontrados en el resto de las muestras del Cretácico o del Terciario. Además de las 16 especies consideradas como posibles supervivientes, se han identificado otras 26 especies cretácicas que pertenecen a la mayor parte de los géneros del Maastrichtiense (Tabla I). Los ejemplares de estas 26 especies se encuentran parcialmente disueltos, casí siempre desgastados, y en muchos casos sólo se conserva la estructura interna de la concha o el molde interno. Todos ellos tienen una conservación diferente a la norma general. La mayor parte de estos ejemplares presentan rellenos de diferentes materiales, generalmente margosos grises y azules de la U1 o de sedimento rojo piritizado. De esas 26 especies reelaboradas identificadas en la muestra AEA-1.02, dos son Globotruncana bulloides y Globotruncana ventricosa, las cuales se extinguen en la parte media-baja de la Biozona de Abathomphalus mayaroensis (Arz, 1996) y no han sido incluidas en la Tabla I. Además, las especies cretácicas identificadas en las primeras muestras de otros cortes cercanos, como Agost, Caravaca, El Kef o Aïn Settara, no suelen coincidir con las encontradas en Elles y permite considerarlas como reelaboradas.

En la Tabla I se indican los especimenes cretácicos de la muestra AEA-1.02 considerados como reelaborados. Con una «R» se indican los ejemplares reelaborados encontrados dentro de la fracción representativa de más de 300 ejemplares y con una «r» los ejemplares reelaborados identificados en el residuo. En el resto de muestras de la Tabla I solo se incluyen los reelaborados encontrados en la fracción representativa. Aunque no se han indicado en la Tabla I y II, también se han identificado otros ejemplares reelaborados en diversas muestras, pero generalmente tras una búsqueda intensiva en el residuo y siempre con claros síntomas de reelaboración. Por esta razón, estos ejemplares aislados no han sido indicados en las tablas. Sólo en las muestras AEA-2.55 y AEA-3.10 existe una mayor abundancia de ejemplares claramente reclaborados de especies cretácicas (algunos no indicados en la Tabla II). En la muestra

2022 0420	MUESTRAS > 63 μm													
ESPECIES	AEA 0.00	AEA 0.50	AEA 0.75	AEA 0.82	AEA 0.95	A E A 0.98	AEA 1.00	AEA 1.02	AEA 1.05	AEA 1.15	AEA 1.25			
Guembelitria cretacea Gb. trifolla Gb. danica Gb. irregularis	x x	0.6 x	0.3 0.3	0.6 0.3	x 0.3	0.5 0.5		10.0 2.6	24.4 12-2	16.0 10.1 1.3	17.0 15.6 2.0 0.3			
Heterohelix planata H. globulosa H. pulchra H. punctulata H. glabrans II. navarroensis H. labellosa	2.5 58.7 2.2 0.9 0.6 10.9 0.9	4.1 48.4 1.6 1.0 1.6 13.7 4.1	2.6 51.9 1.9 0.3 x 12.2 3.5	3.0 45.7 0.6 0.3 0.3 12.9 3.0	3.1 53.4 1.1 1.1 0.3 12.3 3.1	4.5 49.7 1.5 0.5 1.7 14.2 2.5		2.3 59.3 0.6 r 1.0 7.9 1.6	0.9 38.6 0.9 1.3 9.6 0.6	2.9 44.1 0.3 0.6 10.1 2.3	1.0 39.3 x 0.6 5.3 1.3			
Pseudotextularia nuttalli P. elegans P. intermedia	1.2 1.2 x	3.2 0.6 x	2.9 x x	3.6 0.9 x	3.6 0.9 x	2.0 0.5 x		r r r						
Gublerina acuta G. cuvillieri	x x	x x	x x	x x	x	x		r						
Pseudoguembelina kempensis P. palpebra P. costulata P. costulata P. costellifera P. excolata P. harlaensis	2.2 x 1.6 x x x x	x 0.3 0.6 0.3 0.3 0.3	1.0 x 0.3 x x x x	0.3 0.3 0.9 0.9 x x x	1.4 x 1.7 x 0.3 x	1.0 0.2 0.5 0.2 x x		0.3 r 0,3 r	x 0.6	x x	0,3			
Planoglobulina acervulinoides P. carseyae P. multicamerata P. manuelensis	x 0.3 x x	0.3 x x x	x x x x	x x x x	x x x x	x x x x		r						
Racemiguembelina fructicosa R. powelli	x 0.3	x x	x x	x x	x x	x x		r r						
Globigerinelloides yaucoensis G. rosebudensis G. prairiehillensis G. volutus G. subcarinatus	2.8 0.3 1.6 2.5 x	4.1 x 4.1 2.2 0.6	3.2 0.3 3.5 2.3 1.0	5.4 0.9 2.4 3.3 1.0	4.8 0.3 2.5 3.6 0,3	4.5 0.5 2.7 3.2 0.2		4.6 2.6 1.6 0.6	3.2 0.3 1.6	2.6 1.3 1.0	4.3 1.3 2.6			
Hedbergella monmouthensis H. holmdelensis	1.9 2.2	1.6 1.6	2.2 3.2	1.8 3.3	L1 3.1	2.2 1.5		1.6 2.3	1.6 3.8	3.9 3.2	3.0 5.3			
Globotruncanella caravacaensis G. havanensis G. petaloidea G. pschadae G. minuta	x x x 1.2	0.3 x x 2.2	1.0 x 0.3 x 2.3	0.3 x 0.3 x 1.8	0.6 x x x 0.8	0.5 x 0.8 x 1.7		R R						
Plummerita hanckeninoides Rugogiobigerina reicheli R. rugosa R. hexacamerata R. rotundata R. milamensis R. pennyi R. macrocephala R. scotti	x 0.6 1.6 0.3 x x 0.6 x x x	0.3 x 1.0 0.3 x x x x x x x x	x x 1.3 1.0 x x 0.3 x 0.3	x 0.3 1.8 1.5 x x 0.6 x 0.9	x 0.5 0.3 x x 0.3 x x x	x x 0.5 0.2 x x 0.2 x x x								
Globotruncana arca G. aegyptiaca G. orientalis G. rosetta G. mariei	x 0.6 x x x	x x x x x	x 0.3 x 0.3	0.3 0.3 x x 0.6	x x x 0.3	x 0.2 x x x		r r R r	R					
Globotruncanita stuarti G. stuartiformis G. insignis G. farcedi G. conica G. angulata G. dupeublei	x x 0.3 x x x x	x x 0.3 x x x x	x x x x x	0.3 x 0.3 x x x x	x x x x x x x x	x x 0.2 0.2 0.2 x x x		r r R						
Contusotruncana contusa C. patelliformis C. walfischensis	X X X	x x x	x x x	x	x	x x								
Abathomphalus mayaroensis		x	x		x	x		100		201	200			
TOTAL	322	314	312	334	358	402		300	311	306	300			

Tabla I.- Porcentajes de foraminíferos planctónicos en la fracción mayor de 63 µm en las muestras de la parte superior del Maastrichtiense y la parte inferior del Daniense del corte de Elles. Con una «x» se indica especies identificados en el residuo, con una «R» los ejemplares reelaborados encontrados dentro de la fracción representativa de más de 300 ejemplares y con una «r» los ejemplares reelaborados identificados en el residuo.

AEA-2.55 se han encontrado ejemplares reelaborados de H. punctulata, P. nuttalli, P. elegans, G. rosebundensis, G. petaloidea, R. hexacamerata y G. mariei, y en la muestra AEA-3.10 de P. nuttalli, G. petaloidea, P. palpebra, G. havanensis, R. rugosa, R. hexacamerata, H. labellosa, P. kempensis, G. subcarinatus, G. mariei, P. costulata, P. elegans, H. glabrans, G. fareedi y G. aegyptiaca. Si consideramos como índice de reelaboración a la proporción de ejemplares reelaborados depositados con respecto al número total de ejemplares identificados, la mayor abundancia de ejemplares reelaborados en ambas muestras parece indicar un incremento del índice de reelaboración en los niveles que representan.

Los estudios isotópicos son quizás la principal herramienta para distinguir ejemplares reelaborados y acumulados, aunque presentan problemas potenciales como pueden ser la diagénesis y la ontogénesis (D'Hondt y Zachos, 1993; Smit y Nederbragt, 1997). Sin embargo, debemos destacar que las especies cretácicas presentes en la base del Daniense con señal isotópica terciaria y muy probablemente supervivientes son: H. globulosa, H. navarroensis, G. cretacea, G. trifolia, H. holmdelensis y H. monmouthensis (Barrera y Keller, 1990, 1994; Keller et al., 1993; Keller, 1993; Huber, 1996; MacLeod y Huber, 1996). Se ha sugerido que otras especies cretácicas pueden ser supervivientes basándose en su constante presencia en la parte inferior del Daniense (Keller et al., 1995; Molina et al., 1998; Arz y Arenillas, 1998). Dichas especies son las siguientes: G. prairiehillensis, G. yaucoensis, H. planata, P. costulata, G. subcarinatus, H. pulchra, H. labellosa, H. glabrans, P. kempensis y G. volutus. En el presente trabajo, se han considerado como posibles supervivientes las 16 especies nombradas anteriormente y se han considerado reelaboradas el resto de especies cretácicas y los ejemplares con claros síntomas de reelaboración (pertenezcan o no a las posibles especies supervivientes).

El análisis cuantitativo puede ser también otra herramienta para discernir de forma indirecta las probabilidades de reelaboración de una especie. El estudio cuantitativo de diversos cortes de España y Tunicia (Agost, Caravaca, San Sebastián, Aïn Settara, El Kef y Elles) permite identificar varios episodios cuantitativos en la parte inferior del Daniense basados en las abundancias relativas de diversos géneros. Estos episodios cuantitativos fueron definidos en Zumaya, Músquiz y Osinaga por Arenillas et al. (1998). Se evidencia un episodio inicial con dominio de Guembelitria y especies cretácicas (episodio 1), un segundo episodio en el que domina Parvularugoglobigerina y Globoconusa (episodio 2) y un tercer episodio en el que domina Chiloguembelina y Woodringina (episodio 3). Dichos episodios permiten junto con el análisis bioestratigráfico identificar más eficientemente los hiatos que afectan al tránsito K-T. Así por ejemplo, en el corte de Elles se ha identificado un hiato importante alrededor del metro 6,45 y que coincide con la base de un nivel margosoarenoso bioturbado (Fig. 5). Atendiendo a las asociaciones faunísticas, este hiato afecta a la parte superior



Figura 6.- Variaciones %CaCO₃ y del carbono orgánico total (COT) durante el tránsito Cretácico-Terciario de Elles.

de la Biozona de *Pv. eugubina* y la parte inferior de la Biozona de *P. pseudobulloides*, de forma que pasamos bruscamente del episodio 2 al 3 (Figs. 5 y 6). En la primera muestra despues del hiato (AEA-6.45) se observa una asociación mezclada de las especies típicas del Maastrichtiense Superior, de la parte inferior y superior de la Biozona de *Pv. eugubina* y de la parte inferior y media de la Biozona de *P. pseudobulloides*. En esta muestra se han llegado a encontrar dentro de la fracción representativa ejemplares de *P. costellifera*, *P. nuttalli*, *R. scotti*, *P. hantkeninoides* y *R. rugosa*, y en muestras superiores *G. arca* y *R. pennyi*.

El estudio de los diversos cortes mencionados ha permitido demostrar también que, si descontamos las abundancias de G. cretacea y G. trifolia, la abundancia conjunta del resto de especies cretácicas consideradas como «supervivientes» desciende paulatinamente en todos los cortes (Molina et al., 1996, 1998; Arz y Arenillas, 1998; Arenillas et al., 1998, en prensa). La curva descendente de Elles que representa la abundancia relativa de las especies cretácicas «supervivientes» (ARECS) se muestra en la figura 7. En esta figura se compara también la curva descendente ARECS de Elles con respecto a la de Agost. Curvas ARECS similares podrían construirse para El Kef, Aïn Settara, Caravaca, Zumaya y San Sebastián. Podemos observar que todas las curvas ARECS siguen una ecuación polinómica con coeficiente no entero, que en el caso de Elles se ajusta aproximadamente a la curva $Y = 87,706 X^{-2,410}$ (con coeficiente de aproximación de r = 0,9804), siendo X el número de muestra (en metros) e Y el porcentaje de espécimenes cretácicos en dicha muestra.

Las curvas ARECS pueden permitir reconocer en qué muestras existe un mayor índice de reelaboración y

ECDECIEC							ľ	MUE	STR	AS	> 63	μm							
ESPECIES	AEA 1.35	AEA 1.50	AEA 1.60	AEA 1.85	AEA 2.15	AEA 2.25	AEA 2.55	AĒA 2.90	AEA 3.10	AEA 3.50	AEA 4.00	AEA 4.50	AEA 5.00	AEA 5,50	AEA 6.00	AEA 6.45	AEA 6.60	AEA 6.90	AEA 7.20
Parvularugoglob. longlapertura Pv. perexigua Pv. umbrica Pv. eugubina Pv. sabina Pv. cf. hemisphaerica PARVULARUGOGLOBIGERINA		x x	3.4 1.1 0.3 5.0	0.9 0.9 x 1.8	18.5 0.5 3.9 22.9	43,0 0,3 2,2 45,5	27.7 0.5 3.6 31.8	57.2 1.4 1.7 60.3	17.1 0.5 2.9 0.5 21.0	43.9 5.2 0.2 2.0 0.4 0.4 51.4	31.5 10.2 x 0.2 3.3 x 45.2	24.4 18.4 5.1 2.3 x 50.2	40.5 23.4 13.0 1.2 0.3 78.4	11.0 11.6 13.5 3.5 0.5 40.1	3.9 3.1 35.6 7.4 0.4 50.4	R R R R R 26.8	R		
Globoconusa fodina Gc. cf. fringa Gc. extensa Gc. alticonusa Gc. minutula Gc. hilebrandti GLOBOCONUSA	1.3 1.3	0.6 5.6 6.2	2.1 0.7 5.5 8_3	0.9 0.9 6.4 8.2	1.7 0.5 8.1 0.3 10.6	1.3 0.3 0.3 4.4 x 6.3	1.2 0.8 0.3 11.6 0.3 14.2	1.4 1.4 x 6.4 0.3 9.5	3.3 1.9 0.8 9.6 0.5 16.0	9.4 5.6 5.2 10.6 1.0 31.8	12.4 20.6 3.8 1.5 3.5 41.8	6.8 23.8 2.8 1.1 0.8 0.3 35.6	1.2 8.5 0.3 1.2 0.6 11.8	14.1 12.7 1.3 5.9 0.8 0.5 35.3	7.7 7.7 1.5 7.0 1.5 0.6 26.0	R R R R R 6.1	R		
Globastica daubjergensis GLOBASTICA																0.5 0.5	1.6 1,6	0.2 0.2	x x
Eoglobigerina simplicissima E. eobulloides E. pentagona E. fringa E. trivialis E. tetragona E. praedita E. edita E. microcellulosa EOGLOBIGERINA																1.0 0.5 x 0.3 x x 0.5 0.8 1.0 4.1	2.9 0.3 1.6 1.3 1.6 0.6 0.6 1.6 0.3 10.2	1.0 0.5 0.2 0.2 1.2 1.0 0.5 2.6 0.2 6.4	x 0.8 0.2 0.8 x 0.2 3.6 x 5.6
Subbotina triloculinoides SUBBOTINA	,															0.3 0.3	0.6 0.6	0.5 0.5	x x
Globanomalina imitata G. archeocompresa G. planocompresa GLOBANOMALINA	_															1.3 2.6 0.5 4.4	0_3 1.6 3.9 5.8	1.4 14.9 1.9 18.2	1.3 3.1 3.3 7.7
Parasubbotina moskvini P. varianta P. pseudobulioides PARASUBBOTINA																2.1 0.8 2.4 5.3	4.8 0.6 1.6 7.0	2.8 0.7 2.6 6.1	2.3 x 2.3 2.6
Praemurica inconstans Pr. taurica P. pseudoinconstans PRAEMURICA																1.3 1.6 1.0 3.9	2.6 5.5 5.8 13.9	3.5 4.0 0.2 7.7	1.3 7.5 2.5 11.3
Chiloguembelina morsei Ch. midwayensis Ch. taurica Woodringina claytonensis W. hornerstownensis CHILOG. + WOOD.	1.0 1.0	x x x	x x x	0.6 x 0.6	0.3 x 0.3	x x x	x 0.3 0.3	x x x x	x x x x	0.2 0.2 0.2 x 0.6	0.2 0.2 x x 0.4	0,3 x 1,1 x x 1,4	2.1 0.9 2.1 x x 5.1	15.2 0.3 2.4 0.3 1.3 19.5	11.4 0.4 2.0 0.6 0.6 15.0	10.6 3.4 2.1 2.4 1.6 20.1	30.7 7.4 12.9 2.2 2.6 55.8	35.8 3.5 6.4 2.3 4.2 52.2	34.3 3.1 21.2 1.3 1.0 60.9
Guembelitria danica Gb. irregularis Gb. alabamensis Gb. cretacea Gb. trifolia GUEMBELITRIA	3.4 0.7 x 24.0 17.3 45.4	2.1 0.9 0.3 36.7 24.1 64.1	2.8 1.0 x 26.4 21.9 52.1	6.7 3.2 44.5 11.6 66.0	10.3 1.9 33.0 7.8 53.0	8.6 0.3 x 27.4 3.2 39.5	5.1 1.3 16.8 4.9 28.1	3.2 1.1 x 13.6 2.5 20.4	1.3 0.8 0.3 7.4 1.3 11.1	2.0 0.4 0.2 8.2 1.4 12.2	0.2 0.2 x 4.6 0.7 5.7	1.1 0.3 x 8.5 1.1 11.0	x 0.6 0.3 1.7 0.6 3.2	x x 0.8 0.8 1.6	0.2 x 0.6 1.5 0.6 2.9	0.3 x 2.4 1.6 4.3	x x 0.6 x 0.6	x x 0.9 2.6 3.5	0.2 0.5 1.8 5.4 7.9
Heterohelix planata H. globulosa H. pulchra H. glabrans H. labellosa H. navarroensis Pseudosuembelina kemoensis	x 29.5 1.0 1.3 9.5 x	x 12.8 0.3 x 3.9	12.8 0.3 0.3 2.8	x 11.6 x 2.6	x 6.4 x	x 1.9 x	0.3 14.7 1.5	x 2.9 0.3	0.5 35.3 R R 6.9 R	0.2 1.2 0.6	2.3 0.7	x 0.3 0.3	x 0.6 x	0.3 1.1 0.5	0.2 1.7 0.4	R R R R R	R R R R	R R R R	R R
P.costulata Globigerineiloides yaucoensis G. prairieheilensis G. volutus G. subcarinatus	3.4 0.7 1.0	3.3 1.2 1.5	3.4 2.1 4.5 R	2.9 x 0.9	1.1 1.4 1.1	0.3 x 1.6	2.8 0.8 2.3	x 0.7	2.1 0.8 1.9	0.4 0.2 0.2	0.2 x x	0.3 x x	x x	0.8 x x	0.6 0.2 0.4	R R R	RR	R R R	R
Hedbergella monmouthensis H. holmdelensis CRETACICOS (salvo Guemb.)	2.7 3.0 52.1	3.9 2.4 29.3	3.1 4.5 34.1	3.8 1.7 23.5	1.9 1.1 13.0	1.6 1.9 7.3	1.8 1.3 25,5	0.3 1.1 5.3	1.1 1.3 50.2	0.2 0.4 3.4	0.5 0.2 3.9	x 0.3 1.2	x 0.6	x 2.7	0.4 3.9	к R 23.9	к R 19.9	к 5.2	2.7
TOTAL	295	335	288	344	357	314	387	278	374	501	393	352	338	369	455	377	309	422	387

Tabla II.- Porcentajes de foraminíferos planetónicos en la fracción mayor de 63 µm en las muestras del resto del Daniense del corte de Elles.

por consiguiente en qué muestras puede haber un mayor número de especímenes reelaborados. Atendiendo a esta curva de aproximación en Elles, parecen detectarse dos importantes «picos» máximos de reelaboración que corresponden con las muestras anteriormente mencionadas AEA-2.55 y AEA-3.10 (50%). La primera muestra tiene más del 25% de especímenes cretácicos considerados supuestamente supervivientes y sin síntomas aparentes de reelaboración. La segunda muestra presenta más del 50%. Sin embargo, atendiendo a la tendencia general de la curva ARECS de Elles, en estas muestras debería haber aproximadamente un 9% y un 6% respectivamente. Si consideramos estos porcentajes y recalculamos los porcentajes especie por especie, los resultados que se obtienen para las dos muestras son más coherentes con la tendencia general de la evolución de las asociaciones de foraminíferos planctónicos. Estos porcentajes han sido representados con trama gris en la figura 5. Ejemplos similares los podemos encontrar en las muestras AEA- 6,45, 6,60, 6,90 y 7,20, los cuales presentan un porcentaje de especímenes cretácicos superior a lo esperado y es consecuencia de la presencia de asociaciones mezcladas y reelaboradas por encima del hiato del metro 6,45.

Discusión

El patrón de extinción de foraminiferos planctónicos en Elles puede ser clasificado en su conjunto como una extinción en masa catastrófica, en el que 2 (3%) especies desaparecen antes del límite K/T (una de ellas puede ser una verdadera extinción), 45 (72%) especies se extinguen en coincidencia con límite K/T y 16 (25%) especies son posiblemente supervivientes al límite y se extinguen en la parte inferior del Daniense. Sin embargo, en el presente trabajo no hemos podido aportar una evidencia segura del número de especies supervivientes. Solamente G. cretacea y G. trifolia, y probablemente H. holmdelensis, parecen ser supervivientes seguros, ya que juegan un claro papel en la filogenia de las nuevas especies paleocenas (Olsson et al., 1992; Olsson y Liu, 1993; Arenillas y Arz, 1996; Smit y Nederbragt, 1997; Molina et al., 1998; Arenillas et al., 1998, en prensa). Si solo consideráramos estas especies como supervivientes, el patrón de extinción en Elles y en otros cortes podría ser incluso más catastrófico.

Atendiendo a la comparación de Elles con otros cortes de bajas y medias latitudes, se puede concluir que el modelo global de extinción de foraminíferos planctónicos puede ser clasificado también como una extinción en masa catastrófica. Este evento se refleja también en cambios cuantitativos y cualitativos importantes, como el descenso de la abundancia «absoluta» de las especies supervivientes (Smit y Nederbragt, 1997) y el descenso del tamaño de las mismas (Smit, 1982; Keller, 1988; Canudo *et al.*, 1991; Molina *et al.*, 1996; Apellaniz et al., 1997; Arenillas *et al.*, en prensa). El brusco abandono de los diferentes nichos provocó la posterior radia-



Figura 7.- Curvas ARECS (abundancia relativa de especies cretácicas «supervivientes») de Elles y Agost en la parte inferior del Daniense.

ción evolutiva de las especies paleocenas, evolucionando desde formas simples e inicialmente cosmopolitas hacia formas cada vez más complejas que ocupan progresivamente los nichos desocupados.

El descenso de la productividad de los océanos justo después del evento del límite pudo provocar un descenso de la tasa de sedimentación en medios marinos profundos, cuyo principal aporte de carbonatos era la caída de conchas de foraminíferos desde la superficie de los océanos hasta el fondo oceánico. Este hecho se manifiesta claramente en el descenso de δ^{13} C y del %CaCO₃ en Elles y en casi todos los cortes del mundo, y es probablemente la causa principal de la formación de la arcilla del límite (Hsü y McKenzie, 1989; Keller y Lindinger, 1989; Schmitz et al., 1992; D'Hondt et al., 1996). Excepto las conchas de algunas especies oportunistas y cosmopolitas supervivientes al evento del límite K/T, el mayor aporte de carbonato biogénico debió ser consecuencia de la reelaboración de ejemplares cretácicos acumulados antes del evento. Si suponemos que el aporte de ejemplares reelaborados se mantuvo más o menos constante en la parte inferior del Daniense, debería existir una clara reducción del índice de reelaboración debido al aumento paulatino de la abundancia absoluta y el tamaño de las nuevas especies paleocenas. Aunque no tenemos criterio objetivo para demostrarlo, esta reducción de la proporción relativa de ejemplares reelaborados podría coincidir con la curva ARECS. Si esto último es correcto, las curvas ARECS podrían representar simplemente el descenso a lo largo de la parte inferior del Daniense de la proporción relativa de ejemplares reelaborados.

En el presente trabajo, hemos interpretado las curvas ARECS como el producto del descenso progresivo en abundancia de las especies cretácicas que sobreviven. Sin embargo, no hemos podido evidenciar tal interpretación con criterios de reelaboración seguros, puesto que algunos ejemplares cretácicos que hemos considerado simplemente acumulados en la parte inferior del Daniense pueden ser en realidad reelaborados y no presentar síntomas de reelaboración visualmente reconocibles. Debemos hacer notar, además, que las últimas especies cretácicas en ser identificadas son precisamente las especies más abundantes en el Maastrichtiense. Dichas especies parecen desaparecer casi en el mismo orden que ocuparían según su abundancia en el Maastrichtiense (H. globulosa, H. navarroensis, G. yaucoensis, etc.). Quizás exista una relación estadística entre ambos términos. Por ejemplo, si suponemos que todas las especies se hubieran extinguido en el límite K/T excepto G. cretacea, las probabilidades de encontrar ejemplares reelaborados de cada especie dentro de los sedimentos del Daniense sería aproximadamente proporcional a la tasa absoluta de reelaboración, producción de ejemplares acumulados y a la abundancia relativa de las especies durante el Cretácico. Sin embargo, independientemente de que algunas especies sobrevivieran al evento del límite K/T, la existencia de un patrón gradual de extinción en la parte inferior del Daniense no refuta la hipótesis de un evento catastrófico.

El patrón de extinción gradual identificado en la parte inferior del Daniense puede ser un posterior efecto paleoecológico y evolutivo del evento catastrófico principal del límite K/T. La existencia de este patrón gradual sera correcta si se demuestra que la tafonomía no juega un papel fundamental en la interpretación de este patrón y que existen 10-16 especies supervivientes. Por otro lado, en el corte de Elles, y en otros cortes cercanos como los de El Kef, Aïn Settara, Agost y Caravaca, no se ha identificado un número importante de extinciones previas cerca del límite y las encontradas podrían ser explicadas como una extinción gradual de fondo. La ausencia de extinciones previas al límite K/T viene corroborada por la ausencia de cambios cuantitativos importantes en el Maastrichtiense Superior (Fig. 5). Las desapariciones previas al límite K/T identificadas por otros autores (Keller, 1988, 1989a,b; Keller et al., 1995) pueden ser una consecuencia del efecto Signor-Lipps, aspecto que ha sido comprobado en cortes como El Kef, Agost y Caravaca (Molina et al., 1998; Arenillas et al., en prensa). Se podría aducir que todas las especies, especialmente las más raras, se encuentran hasta el final del Maastrichtiense debido al efecto tafonómico de la reelaboración en el Maastrichtiense terminal, pero esto sería una hipótesis ad hoc.

El efecto Signor-Lipps es más común en grupos de organismos grandes como pueden ser los dinosaurios y por tanto presentan más inconvenientes para detallar su modelo de extinción en el tránsito K-T (Molina, 1994, 1995, 1997). Sin embargo, la falta de una búsqueda intensiva de especies raras en foraminíferos planctónicos es un problema generalmente de tipo metodológico. Si realmente existieran extinciones o desapariciones locales producto de cambios eustáticos, paleoclimáticos y paleoceanográficos globales, dichos cambios hubieran afectado inmediatamente a las abundancias relativas de las especies. El análisis cuantitativo hubiese detectado cambios importantes en las asociaciones de foraminíferos planctónicos antes del límite K/T y probablemente la aparición de nuevas especies sustituyendo ecológicamente a las desaparecidas.

Lo importante es que más del 70% de las especies se extinguen en coincidencia con el límite K/T, representando la extinción más importante de la historia evolutiva de los foraminíferos planctónicos. Dicha extinción es mucho más compatible con la hipótesis del impacto meteorítico (Alvarez et al., 1980; Smit, 1982) que con una hipótesis en la que se conjugan múltiples causas y que implicarían una extinción más gradual (Hallam, 1987; Keller, 1989b; Keller et al., 1993, 1995). En Elles, la extinción en masa catastrófica coincide con la base de la arcilla del límite K/T. La arcilla del límite ha sido identificada en todos los cortes considerados como más expandidos y continuos del Tetis (El Kef, Agost, Caravaca, Aïn Settara) y en la mayor parte de ellos ha sido identificado en su base un nivel rojizo o amarillento que contiene las evidencias del impacto meteorítico y otras anomalías isotópicas que caracterizan el límite K/T. En algunos de ellos se ha identificado incluso un nivel inferior generalmente detrítico o bioclástico (Stinnesbeck et al., 1998; Dupuis et al., en prensa) que podría ser atribuido a depósitos originados por uno o varias olas «tsunami» lejos del lugar de impacto. No obstante, no existe evidencias de que dichos depósitos detríticos sean el producto de un tsunami, pero debe notarse esta coincidencia y el hecho de que, en muchos cortes (México, Haití), la arcilla del límite y el nivel de arcilla rojiza que contiene la anomalía de Ir está asociado a un nivel inferior siliciclástico o bioclástico (Smit et al., 1992; López-Oliva y Keller, 1996; Lamolda et al., 1997; Bralower et al., 1998).

Conclusiones

El corte de Elles es uno de los cortes más expandidos del tránsito K-T conocidos hasta la fecha. La arcilla del límite en Elles tiene una potencia de 50 a 60 cm y su base consiste en 3 cm de arcillas amarillas azoicas con cuarzo, óxidos de hierro y jarosita (unidad U2). En estas unidades han sido detectadas algunas de las características básicas para reconocer el límite K/T como es el descenso de δ^{13} C, el incremento del COT y el descenso del %CaCO₃. Se han identificado las Biozonas de *Plummerita hantkeninoides, Guembelitria cretacea, Parvularugoglobigerina eugubina y Parasubbotina pseudobulloides*. La extinción en masa catastrófica de las especies cretácicas en la base de la Biozona de *G. cretacea*, que en Elles representa más del 70% de las especies, debería ser el criterio fundamental para situar bioestratigráficamente el límite K/T debido a que es el evento microfaunístico más importante en medios marinos y coincide con las evidencias de impacto meteorítico que caracterizan este límite.

Las asociaciones de foraminíferos planctónicos en el Maastrichtiense terminal de Elles están muy diversificadas y pertenecen a latitudes subtropicales, identificándose un total de 63 especies cretácicas. En Elles, la extinción de foraminíferos planctónicos en el tránsito K-T sigue un patrón de extinción en masa catastrófica, en el que 2 (3%) especies desaparecen antes del límite K/T, 45 (72%) especies se extinguen en coincidencia con límite K/T y 16 (25%) especies son posiblemente supervivientes al límite, extinguiéndose en la parte inferior del Daniense. Además, 11 géneros se extinguen en coincidencia con el límite K/T: Pseudotextularia, Gublerina, Planoglobulina, Racemiguembelina, Globotruncanella, Plummerita, Rugoglobigerina, Abathomphalus, Globotruncana, Globotruncanita y Contusotruncana. La ausencia de cambios cuantitativos importantes antes del límite K/T en Elles y en otros cortes cercanos parece indicar cierta estabilidad medioambiental en el Maastrichtiense Superior.

El análisis cuantitativo de Elles y de otros cortes de latitudes subtropicales y templadas ha permitido demostrar que la abundancia conjunta de las especies cretácicas consideradas como «supervivientes» (excepto las de *Guembelitria*) desciende paulatinamente en todos los cortes (curvas descendentes ARECS). Las curvas ARECS pueden permitir mostrar los niveles con una mayor índice de reelaboración, pero no hay criterio para demostrar que dichas curvas representen un declive progresivo de especies cretácicas supervivientes en la parte inferior del Daniense. Las curvas ARECS podrían representar simplemente el descenso del índice de reelaboración debido el aumento progresivo de la abundancia absoluta de las especies paleocenas.

Sin embargo, independientemente de que se demuestre la supervivencia de 16 especies cretácicas, la extinción identificada es la más importante de la historia evolutiva de los foraminíferos planctónicos. El patrón de extinción gradual identificado en la parte inferior del Daniense puede ser un efecto paleoecológico y evolutivo posterior al evento catastrófico principal del límite K/T. Además, las escasas extinciones previas al límite podrían ser explicadas como una extinción gradual de fondo. Este patrón de extinción es perfectamente compatible con la hipótesis del impacto meteorítico, ya que una hipótesis más gradual supondría la evolución de nuevas especies a lo largo de todo el tránsito K-T y no solo por encima del límite K/T.

I. Arenillas ha disfrutado de una beca FPI del Ministerio de Educación y Cultura (nºref. EX96 0016020964) en el Institut und Museum für Geologie und Paläontologie de la Universität Tübingen, Alemania. Las medidas de COT han sido realizas por R. Disnar (Univ. Orléans). Este trabajo se ha realizado dentro del proyecto DGES PB97-1016. Agradecemos las valiosas sugerencias de X. Orue-Etxebarria y las de un revisor anónimo que han contribuido a mejorar el artículo.

Bibliografía

- Abramovich, S., Almogi-Labin, A. y Benjamini, C. (1998): Decline of the Maastrichtian pelagic ecosystem based on planktic foraminifera assemblage change: Implication for the terminal Cretaceous faunal crisis. *Geology*, 26(1): 63-66.
- Alvarez, L.W., Alvarez, W., Asaro, F. y Michel, H.V. (1980): Extraterrestial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, 208: 1095-1108.
- Apellaniz, E., Baceta, J.I., Bernaola-Bilbao, G., Nuñez-Betelu, K., Orue-Extebarria, X., Payros, A., Pujalte, V., Robin, E. y Rocchia, R. (1997): Analysis of uppermost Cretaceouslowermost 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. *Bull. Soc. Geol. France*, 168(6): 783-793.
- Arenillas, I. (1998): Biostratigrafía con foraminíferos planctónicos del Paleoceno y Eoceno Inferior de Gubbio (Italia): calibración biomagnetoestratigráfica. N. Jb. Geol. Palaont. M., 5: 299-320.
- Arenillas, I. y Arz, J.A. (1996): Origen y filogenia de las primeras especies de foraminíferos planctónicos del Paleoceno basal, tras el límite Cretácico/Terciario. XII Bienal R. S. Esp. Hist. Nat. Madrid, 267-271.
- Arenillas, I., Arz, J.A. y Molina, E. (1998): El límite Cretácico/ Terciario de Zumaya, Osinaga y Músquiz (Pirineos): control bioestratigráfico y cuantitativo de híatos con foraminíferos planctónicos. *Rev. Soc. Geol. España*, 11(1-2): 127-138.
- Arenillas, I., Arz, J.A., Molina, E. y Dupuis, C. (en prensa): An indepedent test of planktic foraminiferal turnover across the Cretaceous/Paleogene (K/P) boundary at El Kef (Tunisia): catastrophic mass extinction and possible survivorship. *Micropaleontology*.
- Arz, J.A. (1996): Los foraminíferos planctónicos del Campaniense y Maastrichtiense: Biostratigrafía, Cronoestratigrafía y eventos paleoecológicos. Tesis Doctoral, Univ. Zaragoza, 419 pp. (inédita).
- Arz, J.A. y Arenillas, I. (1998): Extinción en masa catastrófica de foraminíferos planctónicos en el límite Cretácico/Terciario del Pirineo occidental (España). *Rev. Soc. Mex. Pal.*, 8(2): 146-162
- Arz, J.A., Arenillas, I., López-Oliva, J.G. y Molina, E. (1998): Modelos de extinción de los foraminíferos planetónicos en el límite Cretácico/Terciario (K/T) de El Mulato (México) y Agost (España). *Geogaceta*, 23: 15-18.
- Arz, J.A., Arenillas, J. y Molina, E. (en prensa): Extinción de foraminíferos planctónicos en el tránsito Cretácico-Terciario de Zumaya (Guipuzcoa): ¿supervivencia o reelaboración?. *Rev. Esp. Microp.*
- 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.
- Barrera, E. y Keller, G. (1994): Productivity across the Creaceous-Tertiary boundary in high latitudes. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 106: 1254-1266.
- 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.*), *Soc. Econ. Paleont. Mineral., Spec. Publ.* 1-392.

- Blow, W.A. (1979): The Cainozoic globigerinida. Leiden, E.J. Brill. 3 vóls. 1413 p.
- Bolli, H.M. (1957): The genera *Globigerina* and *Globorotalia* in the Paleocene-lower Eocene Lizard Springs formation of Trinidad, B.W.I. U.S. Nat. Mus. Bull., 215: 97-124.
- Bolli, H.M. (1966): Zonation of Cretaceous to Pliocene marine sediments based on Planktonic foraminifera. *Bol. inf. Asoc. Venez. Geol. Min. Petr.*, 9: 1-34.
- Burollet, P.F. (1967): Tertiary Geology of Tunisia. En: Guidebook to the Geology and History of Tunisia. Petroleum Expl. Soc. Libya, 9° Ann. Field Conf., 215-225.
- Bralower, T.J., Paull, C.K. y Leckie, R.M. (1998): The Cretaceous-Tertiary boundary cocktail: Chicxulub impact triggers margin collapse and extensive sedimenty gravity flows. *Geology*, 26(4): 331-334.
- Brinkhuis, H. y Zachariasse, W.J. (1988): Dinoflagellate cysts, sea level changes and planktonic foraminifers across the Cretaceous-Tertiary boundary at El Haria, Northwest Tunisia. *Mar. Micropaleontol.*, 13: 153-191.
- Canudo, J.I. (1997): El Kef blind text I results. Mar. Micropaleontol., 29: 73-76.
- Canudo, J.I., Keller, G. y Molina, E. (1991): Cretaceous/ Tertiary boundary extinction pattern and faunal turnover at Agost and Caravaca, SE Spain. *Mar. Micropaleontol.*, 17: 319-341.
- D'Hondt, S. L. (1991): Phylogenetic and stratigraphic analysis of earliest Paleocene biserial and triserial planktonic foraminifera. *Jour. Foram. Res.*, 21(2): 168-181.
- D'Hondt, S. y Zachos, J.C. (1993): On stable isotopic variation and earliest Paleocene planktonic foraminifera. *Paleoceanography*, 8(4): 527-547.
- D'Hondt, S., Herbert, T.D., King, J. y Gibson, C. (1996): Planktic foraminifera, asteroids and marine production: Death and recovery at Cretaceous-Tertiary boundary. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, 307: 310-317.
- Dupuis, C., Steurbaut, E., Molina, E., Rauscher, R., Tribovillard, N.P., Arenillas, I., Arz, J.A., Robaszynski, F., Caron, M., Robin, E., Rocchia, R., Lefevre, I., Schuler, M. and Larque, P. (en prensa): Biotic evolution and events across the Cretaceous-Tertiary (K/T) boundary in the newly discovered Aïn Settara section (Kalaat-Senan area, Central Tunisia). Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol..
- Ginsburg, R.N. (1997): Perspectives on the blind test. Mar. Micropal., 29 (2): 67-68.
- Glen, W., (1994): The Mass-Extinction Debates: How Science Works in a Crisis. Stanford University Press, Stanford, 370 pp.
- Hallam, A. (1987): End Cretaceous mass extinction event Argument for terrestrial caudation. *Science*, 238: 1237-1242.
- Huber, B.T. (1991): Maestrichtian planktonic foraminifer biostratigraphy and the Cretaceous/Tertiary boundary at hole 738C (Kerguelen plateau, Southern indian Ocean). Proc. ODP. Scient. Results, 119: 451-465.
- Huber, B.T. (1996): Evidence for planktonic foraminifer reworking versus survivorship across the Cretaceous-Tertiary boundary at high latitudes. En: The Cretaceous-Tertiary even and other catastrophes in Earth history (Ryder G. et al., Eds), Geol. Soc. Amer. Spec. Paper, 307: 319-334.
- Hsü, K.J. y McKenzie, J. (1989): An «extrangelove» ocean in the earliest Tertiary. En: The carbon cycle an atmospheric CO₂: Natural variations Archian to Present (V.S. Broecker y

T. Sundquist, Eds.), Amer. Geophys. Un. Monography, 32: 487-492.

- Kaiho, K. y Lamolda, M. (en prensa). Catastrophic extinction of planktonic foraminifera at the Cretaceous-Tertiary boundary evidenced by stable isotopes and foraminiferal abundance at Caravaca, Spain. *Geology*.
- Karoui, N. y Zaghbib-Turki, D. (1998): Une nouvelle coupe complète pour son passage Crétacé-Tertiaire: la coupe d'Elles, témoignage des foraminifères planctoniques. Abstracts of International Workshop on Cretaceous/Tertiary transition, Tunisia, 57-60.
- Keller, G. (1988): Extinction, survivorship and evolution of Planktic Foraminifera across the Cretaceous/Tertiary boundary at El Kef, Tunisia. *Mar. Micropaleontol.*, 13: 239-263.
- Keller, G. (1989a): Extended Cretaceous/Tertiary boundary extinctions and delayed population change in planktonic foraminiferal faunas from Brazos River, Texas. *Paleoceanography*, 4: 287-332.
- Keller, G. (1989b): Extended period of extinctions across the Cretaceous/Tertiary boundary in planktonic foraminifera of continental-shelf sections: Implications for impact and volcanism theories. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 101: 1408-1419.
- Keller, G. (1993): The Cretaceous-Tertiary boundary transition in the Antarctic Ocean and its global implications. *Micropaleontology*, 21: 1-45.
- Keller, G. (1997): Analysis of El Kef blind test I. Mar. Micropaleontol., 29: 89-93.
- Keller, G. y Lidinger, M. (1989): Stable isotope, TOC and CaCO3 records across the Cretaceous/Tertiary boundary at El Kef, Tunisia. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol...*, 73: 243-265.
- Keller, G., Barrera, E., Schmitz, B. y Mattson, E (1993): Longterm oceanic instability but no mass extinction or major d¹³ shift in planktic foraminifera across the Cretaceous/Tertiary boundary in Northern high latitudes: Evidence from Nye Klov, Denmark. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 105: 979-997.
- Keller, G., Li, L. y MacLeod, N. (1995): The Cretaceous/ Tertiary boundary stratotype sections at El Kef, Tunisia: How catastrophic was the mass extinction?. *Palaeogeogr.*, *Palaeoclimatol.*, *Palaeoecol.*, 119: 221-254.
- Lamolda, M.A. (1990): The Cretaceous-Tertiary boundary crisis at Zumaya (northern Spain) micropaleontological data. Lect. Not. Earth Sci., Ext. events Earth Hist. (Kauffman, E.G. and Walliser, O.H., Eds.), 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.
- Lamolda, M.A., Aguado, R., Maurrasse, F.J-M.R. y Peryt, D. (1997): El tránsito Cretácico-Terciario en Beloc, Haití: registro micropaleontológico e implicaciones bioestratigráficas. *Geogaceta*, 22: 97-100.
- Liu, C. y Olsson, R.K. (1992): Evolutionary radiation of microperforate planktonic foraminifera the K/T mass extinction event. *Jour. Foram. Res.*, 22(4): 328-346.
- López-Oliva, J.G. y Keller, G. (1996): Age and stratigraphy of near-K/T boundary siliciclastic deposits in Northeastern Mexico. *Geol. Soc. Amer. Bull., Spec. Paper* 307: 227-242.
- Luterbacher, H.P. y Premoli Silva, I. (1964): Biostratigrafia del limite Cretaceo-Terziario nell'Apennino Centrale. *Riv. Ital. Paleontol. Stratigr.*, 70(1): 67-128.
- MacLeod, N. (1993): The Maastrichtian-Danian radiation of triserial and biserial planktic foraminifera: Testing phylogenetic and adaptational hypotheses in the

(micro)fossil record. Mar. Micropaleontol., 21: 47-100.

- MacLeod, N. (1994): An evaluation of criteria the may be used to identify species surviving a mass extinction. *Lunar and Planetary Institute Contribution*, 825: 75-77.
- MacLeod, N. (1996): The nature of the Cretaceous-Tertiary planktonic foraminiferal record: stratigraphic confidence intervals, Signor-Lipps effect, and patterns of survivorship.
 En: Cretaceous-Tertiary mass extinctions: biotic and environmental changes (MacLeod, N. y Keller, G., Eds.), Norton & Company, New York, 85-138.
- MacLeod, N. y Keller, G. (1991a): Hiatus distributions and mass extinctions at the Cretaceous/Tertiary boundary. *Geology*, 19: 497-501.
- MacLeod, N. y Keller, G. (1991b): How complete are the K/T boundary sections?. A chronostratigraphic estimate based on graphic correlation. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 103: 1439-1457.
- MacLeod, N. y Keller, G. (1994): Comparative biogeographic analysis of planktic foraminiferal survivorship across the Cretaceous/Tertiary boundary. *Paleobiology*, 20: 143-177.
- MacLeod, N. 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.
- Masters, B.A. (1997): El Kef blind test Il results. Mar. Micropaleontol., 29: 77-79.
- Molina, E. (1994): Aspectos epistemológicos y causas de la extinción. En: Extinción y registro fósil. *Extinction and the fossil record* (Molina E., ed.), SIUZ Cuadernos Interdisciplinares, Zaragoza, 5: 11-30.
- Molina, E. (1995): Modelos y causas de extinción masiva. Interciencia, 20(2): 83-89.
- Molina, E. (1997): Impactos meteoríticos y extinciones en masa. *Universo*, 25: 18-22.
- Molina E., Arenillas I. y Arz J.A. (1996): The Cretaceous/ Tertiary boundary mass extinction in planktic foraminifera at Agost (Spain). *Rev. Micropaleontologie*, 39(3): 225-243.
- Molina E., Arenillas I. y Arz J.A. (1998): Mass extinction in planktic foraminifera at the Cretaceous/Tertiary boundary in subtropical and temperate latitudes. *Bull. Soc. Geol. France*, 169(3): 351-363.
- Olsson R.K. (1997): El Kef blind test III results. Mar. Micropaleontol., 29 (2): 80-84.
- Olsson R.K. y Liu Ch. (1993): Controversies on the placement of Cretaceous-Paleogene boundary and the K/P mass extinction of planktonic foraminifera. *Palaios*, 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. *Jour. Foram. Res.*, 22(3): 195-213.
- Orue-Etxebarria, X. (1997): El Kef blind test IV results. Mar. Micropaleontol., 29: 85-88.
- 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 (MacLeod N. y Keller, G., Eds.), Norton & Company, New York,, 139-171.
- Pardo, A., Arz, J.A. y Arenillas, I. (1997): Zumaya Vs. Koshak: la larga polémica del límite K/T. XIII Jorn. Paleontol. La Coruña, 216-220.

- Robin, E., Boclet, D., Bonté, P., Froget, L., Jéhanno, C. and Rocchia, R. (1991): The stratigraphic distribution of Ni-rich spinels in Cretaceous-Tertiary boundary rocks at El Kef (Tunisia), Caravaca (Spain) and Hole 761C(Leg 122). Earth Planet. Sci. Letters, 107: 715-721.
- Said, R. (1978): Étude stràtigraphique et micropaléontólogique du passage Crétacé-Tertiarie du Synclinal d'Elles (région Siliana-Sera), Tunisie centrale. Thèse 3e cycle, Univ. Paris VI, 275 p.
- Schmitz, B., Keller, G. y Stenvall, O. (1992): Stable isotope and foraminiferal changes across the Cretaceous-Tertiary boundary at Stevns Klint, Denmark: Arguments for longterm oceanic instability before and after bolide-impact event. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol...*, 96: 233-260.
- Signor, P.W. y Lipps, J.H. (1982): Sampling bias, gradual extinction patterns and catastrophes in the fossil record. *Geol. Soc. Amer., Spec. Paper* 190: 291-296.
- Smit, J. (1982): Extinction and evolution of planktonic foraminifera after a major impact at the Cretaceous/Tertiary boundary. *Geol. Soc. Amer., Spec. Paper* 190: 329-352.
- Smit, J. (1990): Meteorite impact, extinctions and the Cretaceous-Tertiary boundary. *Geol. Mijnb.*, 69: 187-204.
- Smit, J. y Klaver, G. (1981): Sanidine spherules at the Cretaceous-Tertiary boundary indicate a large impact event. *Nature*, 292: 47-49.
- Smit, J. y Nederbragt, A.J. (1997): Analysis of the El Kef blind test II. Mar. Micropaleontol., 29: 95-100.
- Smit, J., Montanari, A., Swiburne, N.H.M., Alvarez, W., Hildebrand, A.R., Margolis, S.V., Claeys, Ph., Lowrie, W. y Asaro, F. (1992): Tektite-bearing, deep-water clastic unit at the Cretaceous-Tertiary boundary in northeastern Mexico. *Geology*, 20: 99-103.
- Stinnesbeck, W., Keller, G. y Adatte, T. (1998): Lithological characteristics of the K/T transition in Tunisia: evidence of the tsunami event?. *Abstracts of International Workshop on Cretaceous/Tertiary transition, Tunisia*, 55-56.
- Stüben, D., Kramar, U., Berner, Z. y Keller, G. (1998): Trace Elements and Stable Isotopes in Foraminifera of the Elles K/ T profile: indicators for sea level fluctuations and primary productivity. Abstracts of International Workshop on Cretaceous/Tertiary transition, Tunisia, 55-56.
- Zaghbib-Turki, D., Karoui, N., Benzarti, R., Rocchia, R. y Robin, E. (1998): Une meilleure caractérisation de la limite Crétacé-Tertiaire de la coupe d'Elles. Abstracts of International Workshop on Cretaceous/Tertiary transition, Tunisia, 62-65.

Manuscrito recibido el 17 de Agosto de 1998 Aceptado el manuscrito revisado el 18 de Marzo de 1999