La estabilidad evolutiva de los foraminíferos planctónicos en el Maastrichtiense Superior y su extinción en el límite Cretácico/Terciario de Caravaca, España

José A. Arz Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, MEX-67700 Linares, México

Ignacio Arenillas

Eustoquio Molina Departamento de Ciencias de la Tierra (Paleontología), Universidad de Zaragoza, E-50009 Zaragoza, España
ias@posta.unizar.es
emolina@posta.unizar.es

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

RESUMEN

El estudio bioestratigráfico y cuantitativo con foraminíferos planctónicos del tránsito Cretácico/Terciario (K/T) del corte de Caravaca permite comprobar la continuidad estratigráfica y la estabilidad evolutiva de las especies en la parte superior del Maastrichtiense. En Caravaca, el patrón de extinción de foraminíferos planctónicos es en masa catastrófico, en el que el 74% de las especies se extinguen en coincidencia con el límite K/T y las evidencias de impacto meteorítico. Este patrón es similar al identificado en otros cortes del Tetis y, por esta razón, se considera que las supuestas extinciones en el Maastrichtiense Superior identificadas por otros autores en Caravaca pueden ser causadas por el efecto Signor-Lipps. En este trabajo se han considerado 17 especies cretácicas como posibles supervivientes al evento del límite K/T, cuya abundancia relativa desciende bruscamente desde el límite K/T (curva ARECS). Este descenso puede ser una consecuencia del declive progresivo en abundancia de las especies cretácicas que sobrevivieron, debido a la competencia biológica con las nuevas especies terciarias, o simplemente el descenso de la proporción relativa de ejemplares cretácicos retrabajados. No obstante, 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 en coincidencia con el límite K/T. La extinción en masa catastrófica de más del 70% de las especies de foraminíferos planctónicos en coincidencia con este límite es muy compatible con la hipótesis del impacto de un asteroide y sus efectos a corto, medio y largo plazo.

Palabras claves: Bioestratigrafía, Tafonomía, Análisis cuantitativo, Maastrichtiense, Daniense.

ABSTRACT

Planktonic foraminiferal stability in the Upper Maastrichtian and the catastrophic mass extinction at the Cretaceous-Tertiary (K/T) boundary at Caravaca (Spain). The planktic foraminiferal quantitative and biostratigraphic study across the K/T boundary at the Caravaca section provides proof of the stratigraphical range continuity and the evolutive stability of species in the Upper Maastrichtian. In Caravaca, the planktic foraminiferal

extinction pattern is a catastrophic mass extinction since 74% of the species went extinct in coincidence with the K/T boundary and with the evidence of impact. This pattern can be similarly identified in other Tethyan sections and, for this reason, the authors consider that the supposed extinctions suggested by other authors in Caravaca could be caused by the Signor-Lipps effect. In this study, it was found that possibly 17 Cretaceous species survived the K/T event and their relative abundance suddenly drops above the K/ T boundary (ARECS curve). This decrease can be a consequence of the progressive decline in abundance of the Cretaceous species that survived due to biological competition with the new Tertiary species or, simply, the decrease in the relative proportion of reworked specimens. Nevertheless, independently of the fact that some species survived the K/T event, the existence of a gradual extinction pattern in the lowermost part of the Danian does not refute the hypothesis of a catastrophic event in coincidence with the K/T boundary. The K/T planktic foraminiferal catastrophic mass extinction of more than 70% is very compatible with the hypothesis of the impact of a large asteroid and its effects in the short, middle and long term.

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

INTRODUCCION

El corte del tránsito Cretácico-Terciario (K-T) de Caravaca es uno de los cortes más expandidos del sureste de España y unos de los más continuos del mundo. La anomalía de iridio que caracteriza el límite Cretácico/Terciario (K/T) fue reconocida en Caravaca (Smit y Hertogen, 1980) al mismo tiempo que en Gubbio, corte que permitió a Alvarez *et al.* (1980) apoyar la teoría del impacto de un asteroide en coincidencia con el límite K/T.

Los foraminíferos planctónicos del límite K/T de los cortes de Caravaca, Agost (España) y El Kef (Tunicia) son el núcleo de un problema paleontológico muy controvertido, ya que el estudio bioestratigráfico de los mismos ha provocado un debate sobre si la extinción de los foraminíferos planctónicos en este límite se ajusta mejor a un modelo más catastrofista (Smit, 1982, 1990; Molina *et al.*, 1996, 1998; Smit y Nederbragt, 1997; Kaiho y Lamolda, 1999) o más gradualista (Keller, 1988, 1989a, b, 1997; Canudo *et al.*, 1991; Keller *et al.*, 1993, 1995; MacLeod y Keller, 1994; Pardo *et al.*, 1996). En este sentido, Smit (1990) describió una extinción en masa catastrófica de foraminíferos planctónicos en Caravaca, además de la existencia de anomalías de iridio, microtectitas y cambios isotópicos en el límite. Este trabajo fue en parte cuestionado por Canudo *et al.* (1991), quienes consideraron la existencia de un conjunto de especies cretácicas supervivientes en la parte inferior del Daniense. Estas especies no fueron especificadas por Smit (1990), ya que consideró su presencia como el producto tafonómico del retrabajamiento.

Uno de los argumentos principales de la hipótesis gradualista es la posible 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 se ha puesto en duda en numerosas ocasiones (Smit, 1990; Olsson y Liu, 1993; Molina *et al.*, 1996, 1998; Smit y Nederbragt, 1997; Apellaniz *et al.*, 1997; Arz y Arenillas, 1998; Arenillas *et al.*, 1998). La falta de unanimidad en la interpretación de los datos puede ser, en parte, producto del efecto Signor-Lipps, debido a la falta de intensidad en el muestreo y en el estudio (Signor y Lipps, 1982; Molina, 1994, 1995). Esta polémica ha sido analizada en los cortes de Agost y El Kef por Molina *et al.* (1996) y Arenillas *et al.*, en prensa, llegando a la conclusión de que, si se estudia exhaustivamente, el patrón de extinción de los foraminíferos planctónicos que mejor se ajusta al límite K/T es una extinción en masa catastrófica.

El objetivo de este trabajo es realizar un estudio bioestratigráfico y cuantitativo con foraminíferos planctónicos del tránsito K-T del corte de Caravaca, similar al realizado con anterioridad en Agost y El Kef. El estudio cuantitativo puede permitir apoyar una hipótesis u otra comprobando la continuidad estratigráfica y la estabilidad cuantitativa de las especies en la parte superior del Maastrichtiense. Estos estudios han sido realizados en el corte de Caravaca con la finalidad de evaluar las extinciones previas al límite K/T y analizar el patrón de extinción de los foraminíferos planctónicos en el tránsito K-T.

LOCALIZACION GEOGRAFICA, MATERIALES Y METODOS

El corte de Caravaca se encuentra situado en el Barranco del Gredero (Fig. 1), aproximadamente a 3 km al sur de Caravaca (Murcia, sureste de España). Las coordenadas geográficas son 38° 5'19.2"N y 1°52' 26.4"W. Geológicamente, el corte se encuentra en el Subbético Norte y pertenece a la Formación Jorquera, la cual está compuesta de margas y margas calcáreas del Maastrichtiense-Eoceno. Los foraminíferos bentónicos indican que los depósitos del Maastrichtiense Superior y Daniense inferior pertenecen a un medio batial medio con *ca.* 600 m de profundidad (Coccioni y Galeotti, 1998). El límite K/T está situado en la base de unas arcillas de color gris oscuro de *ca.* 7 cm de potencia con una lámina basal de color rojo de 2 a 3 mm. El color rojo de esta lámina basal es debido a la presencia de óxidos de hierro (goethita y hematites) y en ella se ha identificado importantes variaciones isotópicas y en elementos siderófilos (incluido el Ir), además de cuarzo de impacto, microtectitas, espinelas de Ni y otras evidencias de impacto (Smit y Hertogen, 1980; Smit y Klaver, 1981; Smit y Kate, 1982; Kyte *et al.*, 1985; Bohor *et al.*, 1986; Smit, 1990; Rocchia *et al.*, 1991; Robin *et al.*, 1991; Martínez-Ruiz *et al.*, 1992; Ortega-Huertas *et al.*, 1992). En el intervalo estratigráfico estudiado, no se han identificado depósitos turbidíticos ni depósitos que indiquen retrabajamiento.

El corte de Caravaca fue muestreado en intervalos que varían entre 2 y 5 cm en las proximidades del límite K/T y en intervalos de 10 a 50 cm en el resto del corte. Se ha estudiado un total de 57 muestras, las cuales fueron disgregadas en agua con la ayuda de H_2O_2, levigadas con tamices de 106 y 63 µ, tratadas con ultrasonidos y secadas con una estufa a menos de 50°C. El análisis cuantitativo se ha realizado sobre la base de una fracción representativa de más de 300 ejemplares por cada muestra. En la fracción mayor de 106 µ, se ha estudiado cuantitativamente un total de 34 muestras de los últimos 1250 cm del Maastrichtiense (Fig. 2). En la fracción mayor de 63 µ, se han estudiado cuantitativamente un total de 40 muestras de los últimos 200 cm del Maastrichtiense y de los primeros 130 cm del Daniense (Fig. 3). Posteriormente se ha analizado el resto del residuo con el objetivo de buscar las especies raras o poco abundantes y de minimizar el efecto 'Signor-Lipps'. Los ejemplares de cada muestra han sido montados en celdillas múltiples, permitiendo su conservación y su posterior revisión. La conservación de los foraminíferos planctónicos es buena y son abundantes en todas las muestras.

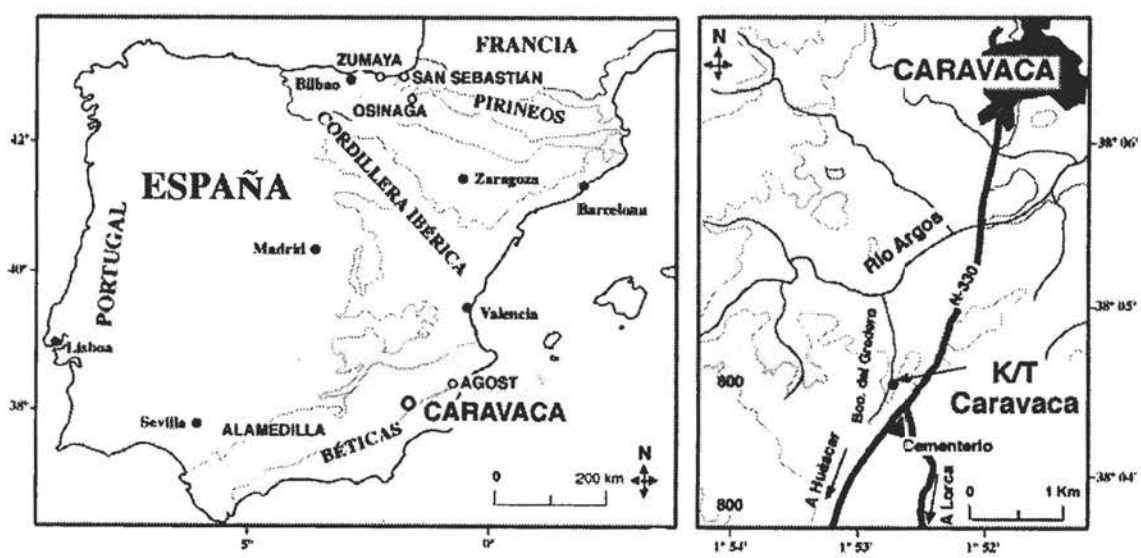


FIG. 1. Situación geográfica y geológica del corte de Caravaca.

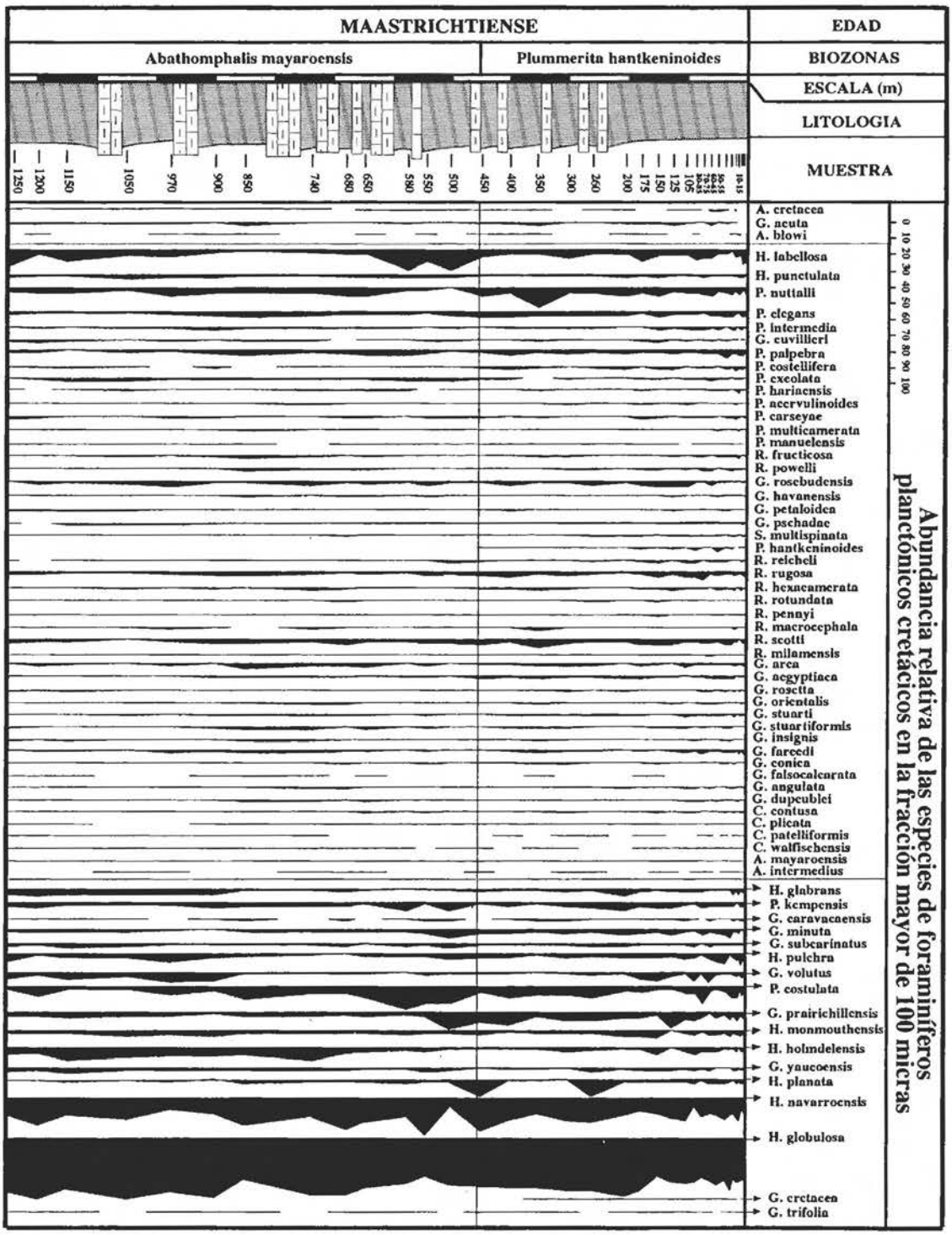


FIG. 2. Frecuencia relativa de las especies de foraminíferos planctónicos de la fracción mayor de 100 μ en el Maastrichtiense Superior de Caravaca.

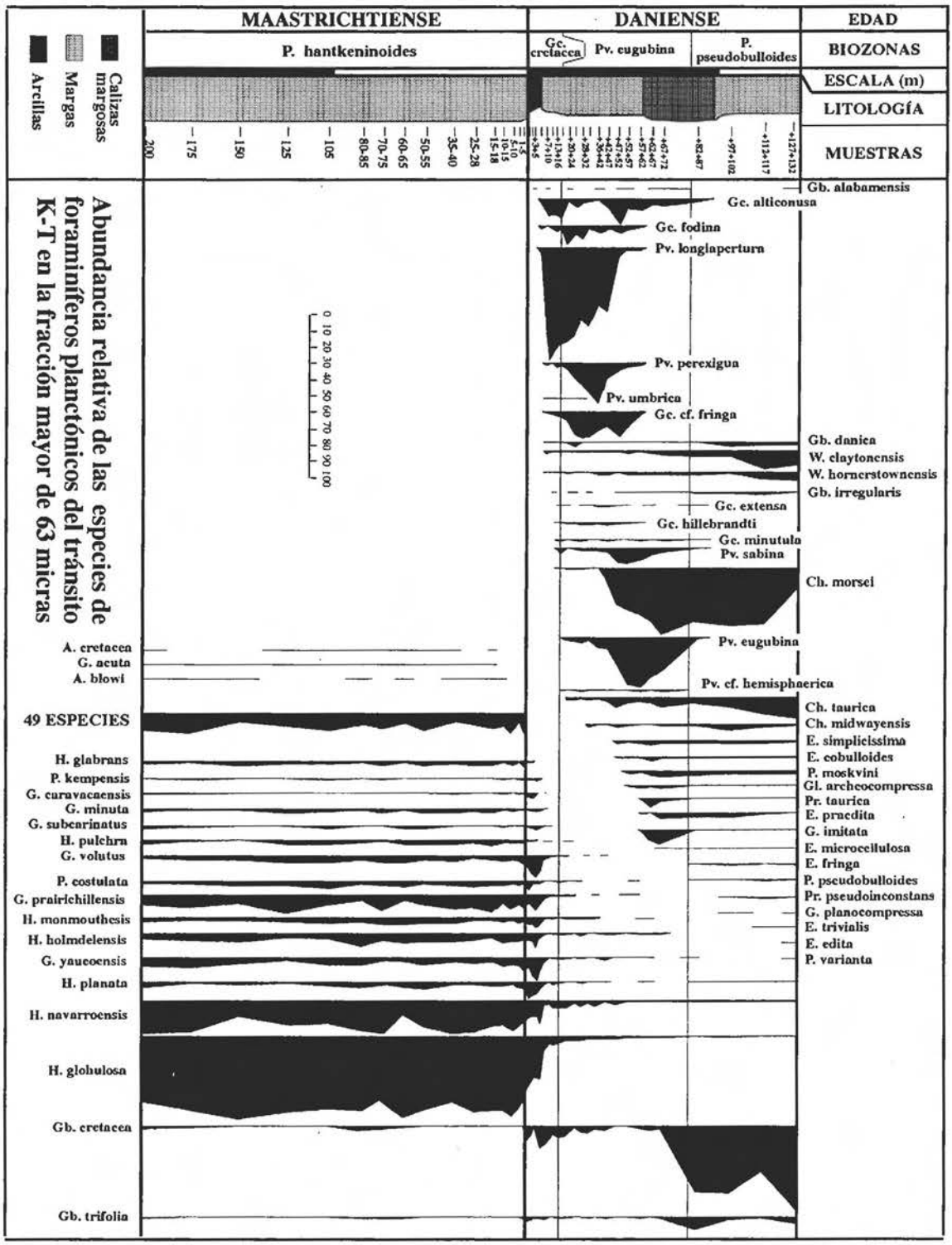


FIG. 3. Frecuencia relativa de las especies de foraminíferos planctónicos de la fracción mayor de 63 μ del tránsito Cretácico-Terciario de Caravaca.

BIOESTRATIGRAFIA

La bioestratigrafía y micropaleontología del límite K/T de Caravaca fue estudiada, inicialmente, por von Hillebrandt (1974) y por Abtahi (1975). Otros estudios más detallados del Maastrichtiense y del Daniense de Caravaca fueron realizados por Smit (1982), Nederbragt (1990), Canudo *et al.* (1991) y Arenillas y Molina (1997). En Caravaca, Smit (1982) descubrió una asociación nueva de foraminíferos planctónicos entre la Biozona de *Abathomphalus mayaroensis* y la Biozona de '*Globigerina*' *eugubina* que le permitió definir una nueva biozona: Biozona de *Guembelitria cretacea* o P0.

Sobre la base de la biozonación de Molina *et al.* (1996), los autores han identificado 5 biozonas en el intervalo estratigráfico estudiado del tránsito K-T de Caravaca: Biozonas de *Abathomphalus mayaroensis*, *Plummerita hantkeninoides*, *Guembelitria cretacea*, *Parvularugoglobigerina eugubina* y de *Parasubbotina pseudobulloides*. Las dos primeras biozonas pertenecen al Maastrichtiense Superior y las tres últimas a la parte inferior del Daniense. La base de todas ellas se sitúa coincidiendo con la primera aparición de la especies del mismo nombre, excepto la base de la Biozona de *G. cretacea* que equivale al límite K/T y coincide con la última aparición de *P. hantkeninoides* y *A. mayaroensis*. La biozona de *A. mayaroensis* fue definida inicialmente por Brönnimann (1952) como una biozona de extensión total de la especie del mismo nombre. Posteriormente, esta biozona fue subdividida por Ion (1993) en dos biozonas, la de *A. mayaroensis* y *P. hantkeninoides*, separadas por la primera aparición de *P. hantkeninoides*. Esta biozonación de la parte superior del Maastrichtiense, válida para latitudes bajas, fue utilizada posteriormente por Keller *et al.* (1995); Pardo *et al.* (1996) y Molina *et al.* (1996, 1998).

En Caravaca, Smit (1982) utilizó la primera aparición de *Globoconusa minutula* para situar el límite entre las Biozonas de *G. cretacea* y *Pv. eugubina*, al ser una de las primeras especies paleocenas en aparecer. Sin embargo, esta especie puede presentar problemas taxonómicos ya que el concepto de especie que Smit (1982) asignó a *G. minutula* fue muy amplio, englobando probablemente a todas las formas que en el presente trabajo se incluyen en *Globoconusa alticonusa*, *G. fodina* y *G. minutula*. Para situar la base de la Biozona de *Pv. eugubina*, Molina *et al.* (1996) utilizaron la primera aparición de *Pv. eugubina* siguiendo la definición original de Luterbacher y Premoli Silva (1964). Este nivel es, además, el más utilizado en la literatura especializada (Bolli, 1966; Keller, 1988, 1993; Canudo *et al.*, 1991; Berggren *et al.*, 1995; Pardo *et al.*, 1996). Sin embargo, existen problemas taxonómicos entre *Pv. eugubina* y *Parvularugoglobigerina longiapertura*, ya que esta última es una especie muy parecida a *Pv. eugubina*, y se diferencia, fundamentalmente, por su abertura de arco alto alargado (Canudo *et al.*, 1991; Keller, 1993; Keller *et al.*, 1995; Apellaniz *et al.*, 1997). En el pasado, ha sido común considerar ambas especies sinónimas y por esta razón la base de la Biozona de *Pv. eugubina* se ha situado en la primera aparición de formas atribuibles a *Pv. longiapertura* y no a *Pv. eugubina*. Por lo tanto, la Biozona de *Pv. eugubina* de Molina *et al.* (1996) no debe ser confundida con la P0 de Smit (1982), Keller (1988) y Berggren *et al.* (1995).

RECONSTRUCCION PALEOAMBIENTAL

ANALISIS CUANTITATIVO DE LAS ASOCIACIONES

La diversidad específica de foraminíferos planctónicos es muy alta en los cortes del Maastrichtiense Superior que, como Caravaca, pertenecen al dominio del Tetis. Asociaciones muy similares han sido identificadas en otros cortes cercanos a Caravaca, como Agost y Zumaya (España), Aïn Settara, El Kef y Elles (Tunicia) (Molina *et al.*, 1998; Arz *et al.*, 1999a, b; Arenillas *et al.*, en prensa; Dupuis *et al.*, en prensa). Por esta razón, estos cortes son una excelente herramienta para evaluar el patrón de extinción de los foraminíferos planctónicos. En Caravaca, las asociaciones registradas en los últimos 12,5 m del Maastrichtiense Superior están compuestas por un total de 69 especies, que indi-

can un medio profundo de aguas subtropicales. El género dominante es *Heterohelix*, con un 53% de abundancia relativa promedio en la fracción superior a 100 µ (Fig. 4). Otros géneros relativamente abundantes son *Pseudoguembelina* y *Globigerinelloides*, con una abundancia de 12 y 11%, respectivamente. También, son abundantes los géneros *Hedbergella*, *Globotruncana* y *Globotruncanita*, que presentan una abundancia relativa promedio del 4 a 5%. Existe un claro dominio de las especies de hábitat superficial, con un promedio de 69,5%, frente a las de hábitat intermedio (24,5%) y las habitantes de aguas más profundas (6%). Por otro lado, las especies cosmopolitas dominan claramente sobre las especies tropicales-subtropicales, con una abundancia relativa promedio de un 80% (Fig. 4).

La especie dominante en las asociaciones es *Heterohelix globulosa*, con una abundancia promedio aproximada al 28% en la fracción superior a 100 µ y a 44% en la fracción superior a 63 µ (Figs. 2 y 3). También son frecuentes *Heterohelix navarroensis*, *H. labellosa* y *Pseudoguembelina costulata* (7 al 10%). Otras especies abundantes (1-5%) son las de los géneros *Heterohelix*, *Globigerinelloides* y *Hedbergella*, además de *Pseudotextularia nuttalli*, *P. elegans*, *Pseudoguembelina kempensis*, *P. palpebra*, *Globotruncanella minuta*, *Rugoglobigerina rugosa*, *Rugoglobigerina scotti*, *Globotruncana arca*, *G. mariei* y *G. aegyptiaca*. El resto de las especies, rara vez, supera el 1%. Así, por ejemplo, es difícil encontrar, debido a su pequeño tamaño, las especies del género *Guembelitria* dentro de la fracción representativa superior a 100 µ. En general, las especies cosmopolitas suelen tener un tamaño más pequeño y sus porcentajes en la fracción superior a 63 µ son más altos (Figs. 4 y 5).

Por el contrario, las especies más raras suelen ser las más grandes, tales como las pertenecientes a los géneros *Contusotruncana*, *Globotruncana*, *Globotruncanita*, *Racemiguembelina* y *Planoglobulina*. Gran parte de estas especies precisa de una búsqueda intensiva para ser identificadas. Son especies muy especializadas, de morfología compleja y con un ciclo vital más largo, por lo que su abundancia relativa suele ser muy pequeña. En la fracción superior a 63 µ, estas especies son todavía más raras. Así, por ejemplo, los globotruncánidos (*Globotruncana*, *Globotruncanita*, *Contusotruncana* y *Abathomphalus*) son diez veces más abundantes en la fracción superior a 100 µ que en la superior a 63 µ, donde sólo alcanzan el 0,6%. Este ejemplo nos da una idea de cómo se pueden alterar las proporciones de las diferentes especies de foraminíferos planctónicos dependiendo de la fracción utilizada. La fracción generalmente utilizada en los estudios bioestratigráficos con foraminíferos del tránsito K-T suele ser la superior a 63 µ, debido a que las especies, tanto cretácicas como paleocenas, no superan las 100 µ en la parte basal del Daniense. Por esta razón, para minimizar el efecto Signor-Lipps en el Maastrichtiense Superior, se precisa de una búsqueda muy intensa de las especies grandes y raras.

ESTABILIDAD EVOLUTIVA EN EL MAASTRICHTIENSE SUPERIOR

Los foraminíferos planctónicos son un grupo de organismos paleoecológicamente muy sensibles, por lo que las abundancias relativas de las diversas especies son afectadas inmediatamente ante cambios de tipo climático, paleoceanográfico o químico. Si realmente existieron cambios importantes en la parte terminal del Maastrichtiense, antes del límite K/T, el análisis cuantitativo indicaría de forma evidente cambios significativos en las asociaciones de foraminíferos planctónicos. Sin embargo, los diversos indicadores paleoecológicos estudiados en Caravaca no muestran cambios cuantitativos importantes durante el Maastrichtiense Superior (Figs. 2, 3, 4, y 5).

La estabilidad de las asociaciones de foraminíferos planctónicos al final del Maastrichtiense Superior puede ser analizada bajo dos puntos de vista: el cualitativo (distribución estratigráfica de las especies) y el cuantitativo (variaciones en la abundancia relativa de las especies a lo largo del tiempo). Desde el punto de vista cualitativo, nuestros datos indican una presencia bastante constante de las especies maastrichtienses en todas las muestras, por lo que sus distribuciones estratigráficas son muy continuas. En especial, cabe destacar el excelente registro de las dos especies biozonales: *A. mayaroensis* y *P. hantkeninoides*, la primera presente en todas las muestras y la segunda en todas salvo en una. La presencia de numerosos ejemplares de *A. mayaroensis* en Caravaca es un hecho notable, ya que esta especie es rara al final del Maastrichtiense y tiende a desaparecer antes del límite K/T (Keller, 1988; Molina *et al.*, 1998). Por el contrario, otras especies, como *Archaeoglobigerina cretacea*, *A. blowi*, *Globotruncanita falsocalcarata*,

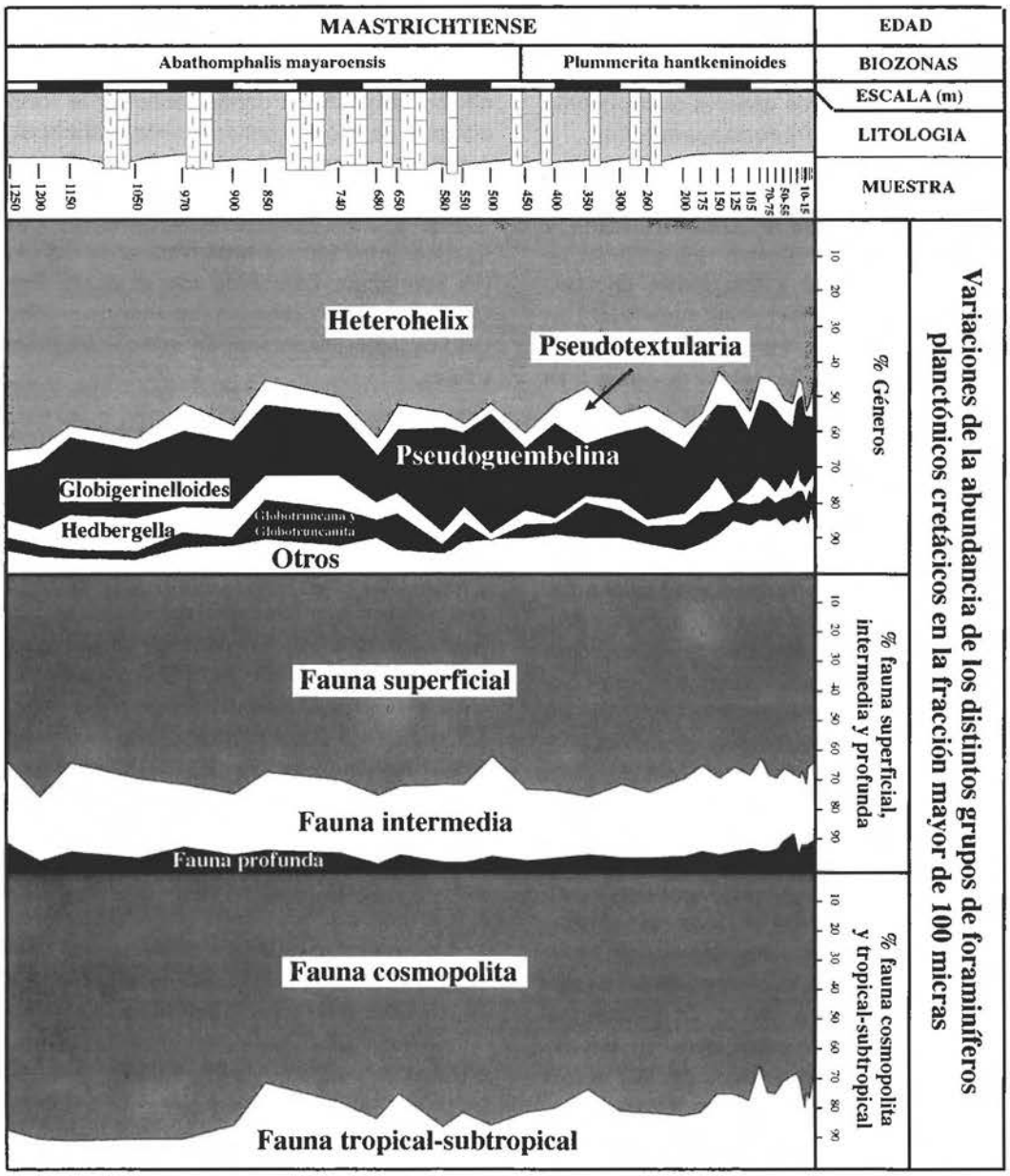


FIG. 4. Variaciones de la abundancia de los distintos grupos de foraminíferos planctónicos cretácicos en la fracción mayor de 100 µ en el Maastrichtiense Superior.

Contusotruncana patelliformis o *Abathomphalus intermedius*, presentan un registro menos continuo, aunque suficiente para determinar su distribución estratigráfica.

Al analizar todas las distribuciones estratigráficas de las diferentes especies, sólo tres parecen desaparecer justo antes del límite K/T: *Archaeoglobigerina cretacea, A. blowi* y *Gublerina acuta*. No obstante, algunas de estas desapariciones podrían ser locales, ya que su extinción ha sido reconocida coincidiendo con el límite K/T en algunos cortes del Tetis. Así por ejemplo, la desaparición de *A. blowi* coincide con el límite K/T en los cortes de Agost y Aïn Settara (Molina *et al.* 1996;

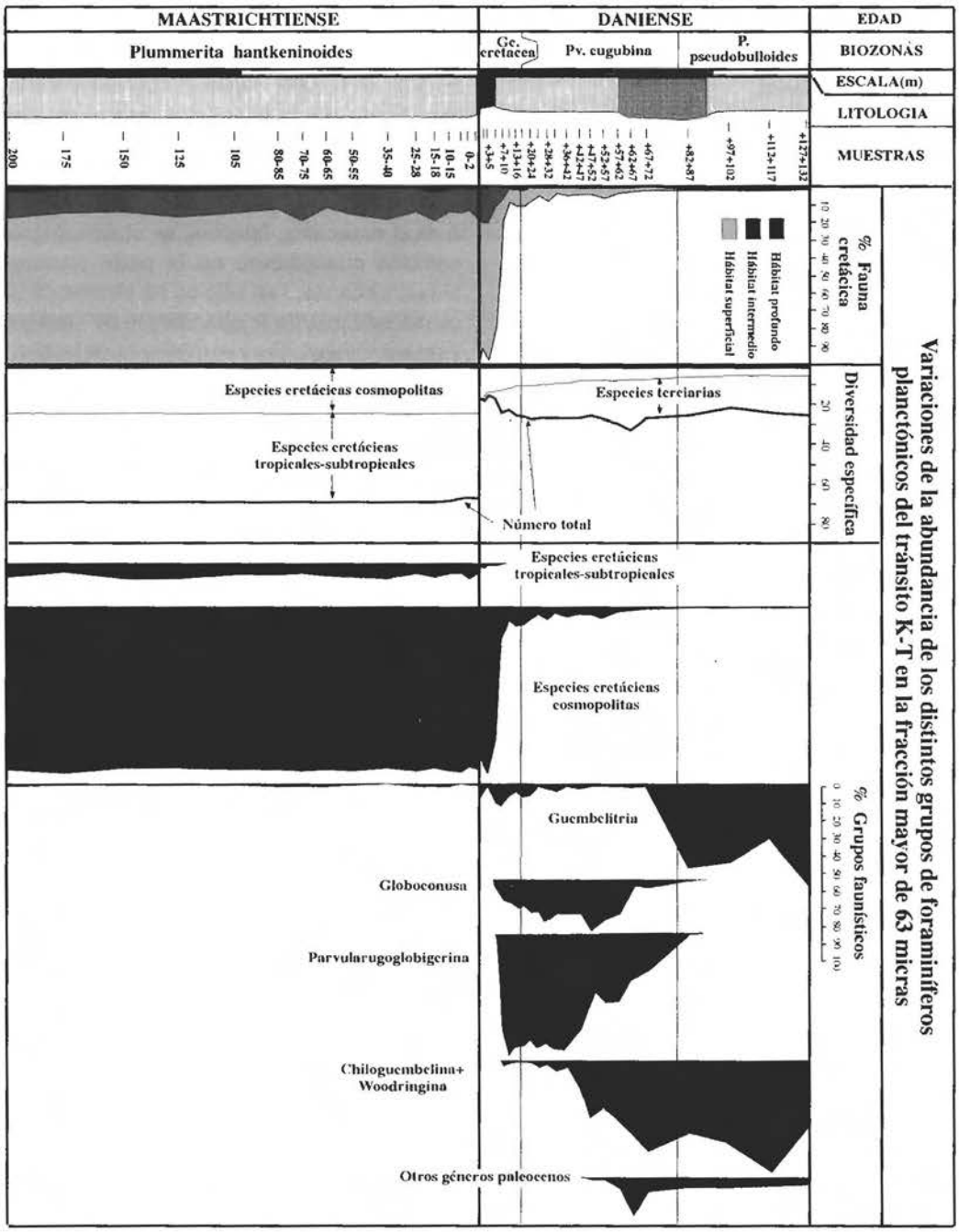


FIG. 5. Variaciones de la abundancia de los distintos grupos de foraminíferos planctónicos del tránsito K/T en la fracción mayor que 100 µ.

Molina *et al.*, 1998) y la de *G. acuta* en los cortes de Zumaya y San Sebastián (Arenillas *et al.*, 1998; Arz y Arenillas, 1998). Por esta razón, la única especie que podría considerarse como extinta antes del límite es *A. cretacea*. Este hecho supondría que tan sólo el 1,5% del total de las especies del Maastrichtiense terminal se extinguió justo por debajo del límite K/T. Por el contrario, el resto de

especies llega hasta el límite, de las cuales 51 especies (74%) se extinguen coincidiendo con dicho límite y 17 (24,5%) parecen persistir en la parte basal del Daniense.

Desde el punto de vista cuantitativo (Figs. 2 y 3), destaca la poca variación en la abundancia relativa de las diferentes especies y géneros en los últimos metros del Maastrichtiense, tanto en 63 como en 100 µ. Por esta razón, es muy difícil identificar tendencias a nivel cuantitativo. No obstante, se observa un descenso de las especies cosmopolitas con respecto a las tropicales-subtropicales. Así, por ejemplo, el género *Heterohelix* tiende a ser cada vez menos abundante, pasando de un 66% en la base del corte a un 47% en el techo en la fracción superior a 100 µ. Igualmente ocurre con las especies cosmopolitas en su conjunto, las cuales descienden desde el 90% en la base del perfil al 69% justo por debajo del límite K/T. Paralelamente, las especies tropicales-subtropicales pasan de una abundancia próxima al 10% en la parte inferior al 25-30% en la parte superior. Más estable se mantiene la relación foraminíferos planctónicos/bentónicos a lo largo del Maastrichtiense Superior, con un promedio del 98,5% de foraminíferos planctónicos, oscilando entre el 97,2 y el 99,7% (Fig. 4). A nivel específico, tampoco se observan grandes cambios cuantitativos en la parte superior del Maastrichtiense. Tan sólo se ha observado un ascenso evidente de la abundancia de *Globigerinelloides prairiehillensis* y un descenso de *Hedbergella holmdelensis* en la Biozona de *P. hantkeninoides* (Fig. 2). Todos estos indicadores sugieren que, en el Maastrichtiense Superior de Caravaca, los foraminíferos planctónicos se encontraban en plena expansión.

LOS EFECTOS SIGNOR-LIPPS Y TAFONOMICO

EL EFECTO SIGNOR-LIPPS EN EL MAASTRICHTIENSE SUPERIOR

Una de los principales críticas a la hipótesis de extinción en masa catastrófica es la existencia de extinciones previas al límite K/T (MacLeod, 1996). En teoría, una catástrofe ecológica como el impacto de un meteorito no debería causar una reducción de la diversidad o una serie de extinciones antes del evento de extinción. Sin embargo, Signor y Lipps (1982) indicaron la existencia de dos tipos de limitaciones en la interpretación de los datos capaces de provocar la aparente desaparición de una especie antes de su verdadera extinción. Estos defectos, que en su conjunto se suelen denominar como efecto Signor-Lipps, pueden ser el origen de la controversia sobre el evento de extinción del límite K/T.

Una de las posibles limitaciones es la discontinuidad del registro fósil debido a variaciones de tipo ecológico y a la propia calidad del registro fósil. Un cambio ecológico puede provocar cambios de tipo sedimentario y migraciones de la fauna, e impide que encontremos las especies en todos los niveles de un corte. Esta limitación puede provocar la desaparición local de una especie en un área determinada antes de su verdadera extinción. En realidad, es un efecto Lázaro localizado en un área o región justo antes de la extinción de la especie estudiada. En el Maastrichtiense Superior del corte de Caravaca los autores no han reconocido ningún cambio apreciable de tipo sedimentológico, bioestratigráfico o cuantitativo, lo que permite descartar esta variable como posible causa de desapariciones previas.

La segunda limitación se refiere al muestreo y pueden jugar tres variables fundamentales: la cantidad de muestra analizada en cada nivel estratigráfico, la intensidad del muestreo (mayor o menor resolución) y la intensidad de búsqueda de las especies en una muestra. De estas tres variables, las dos primeras, que fueron las más ampliamente analizadas por Signor y Lipps (1982), son limitaciones más bien propias del estudio de organismos de gran tamaño (dinosaurios, ammonites, etc.) y, generalmente, son imposibles de eliminar. Así, por ejemplo, la pobreza y discontinuidad del registro fósil de los dinosaurios impide, probablemente, una interpretación adecuada de su modelo de extinción en el límite K/T (Russell, 1975).

Por el contrario, la variable del efecto Signor-Lipps que más afecta al estudio micropaleontológico

es la intensidad de búsqueda de las especies en una muestra (Molina, 1994, 1995). En la actualidad, la metodología utilizada en el estudio micropaleontológico de los foraminíferos planctónicos del tránsito K-T minimiza al máximo las otras dos variables. Esto es debido a que, generalmente, se utiliza una metodología de alta resolución, la muestra recogida en cada nivel suele ser suficiente para que quede representada toda la asociación microfaunística y la abundancia y continuidad del registro fósil suele ser muy alta, sobre todo en cortes de medios batiales y de latitudes bajas y medias. A pesar de ello, algunos autores (Keller, 1988, 1996; Keller *et al.*, 1995) sugirieron la existencia de desapariciones pre-K/T y, en su estudio, ponen de manifiesto una gran discontinuidad de la distribución de las especies de foraminíferos planctónicos. Esta discontinuidad bioestratigráfica y estas aparentes desapariciones parecen estar relacionadas más bien con una inadecuada intensidad en la búsqueda de las especies, puesta de manifiesto por Molina *et al.*, (1996, 1998). El reestudio bioestratigráfico y cuantitativo de algunos cortes previamente estudiados, como los de Agost, El Kef y ahora el de Caravaca (Molina *et al.*, 1996, 1998; Smit y Nederbragt, 1997; Arenillas *et al.*, en prensa), permiten apoyar esta idea.

Las supuestas extinciones sugeridas por varios autores (Keller, 1988, 1989a, b; Keller *et al.*, 1995) parecen afectar, casi siempre, a las especies raras. Por esta razón, el supuesto patrón gradual puede estar ocasionado por el efecto Signor-Lipps, ya que afecta con mayor intensidad a las especies raras (Molina, 1994, 1995). Cuando se intenta minimizar el efecto Signor-Lipps mediante una búsqueda intensiva, el resultado final es que casi todas las especies raras se encuentran hasta el límite K/T (Molina *et al.*, 1996, 1998; Smit y Nederbragt, 1997; Arenillas *et al.*, 2000). Por el contrario, Keller (1997) apuntó que gran parte de las últimas apariciones de especies raras en el Maastrichtiense se establecen en función de ejemplares aislados y que, por lo tanto, pueden ser retrabajados. Con esta argumentación se intenta apoyar la existencia de desapariciones previas al límite K/T considerando las extinciones en el límite K/T simplemente como aparentes. Sin embargo, este argumento sólo se sostiene si la abundancia de las mismas disminuye anormalmente producto de cambios paleoecológicos evidentes. Si no hay cambios, probablemente, una especie rara seguirá siendo rara y sólo es necesario una búsqueda de la misma para evitar el efecto Signor-Lipps. Cuando la abundancia de todas las especies se mantiene en el período previo al horizonte de extinción, es razonable pensar en la existencia de alguna extinción de fondo, pero no en la existencia de una extinción gradual acelerada.

La minimización del efecto Signor-Lipps en el estudio bioestratigráfico ha permitido mostrar la continuidad de la distribución estratigráfica de las diversas especies en el Maastrichtiense Superior de Caravaca y la extinción de más de 74% de las especies en coincidencia con el límite K/T. El patrón de extinción de foraminíferos planctónicos identificado en Caravaca es muy similar a los identificados en Agost, El Kef, Elles y Aïn Settara (Molina *et al.*, 1996; Arz *et al.*, 1999a, b; Arenillas *et al.*, en prensa; Dupuis *et al.*, en prensa). En todos estos cortes, se observa una gran continuidad en la distribución estratigráfica y una gran estabilidad en la abundancia de las diferentes especies.

EL EFECTO TAFONOMICO DEL RETRABAJAMIENTO EN EL DANIENSE INFERIOR

Uno de los principales debates en el límite K/T es la tafonomía, fundamentalmente el problema del retrabajamiento de ejemplares de especies cretácicas en la base del Daniense (Molina, 1994, 1995; Ginsburg, 1997; Smit y Nederbragt, 1997). Este debate surge porque generalmente no existe un criterio visual sencillo en Micropaleontología que nos permita discernir los ejemplares retrabajados o los simplemente acumulados. Por esta razón, cuando se minimiza el efecto Signor-Lipps, es posible encontrar muchas especies cretácicas en la parte basal del Daniense (Maurrasse, 1980; Keller, 1988, 1989a, b; Canudo *et al.*, 1991; Apellaniz *et al.*, 1997; Luciani, 1997). Sin embargo, cuando existe algún criterio visual, como el diferente color o la diferente conservación, se puede observar que la mayor parte de estos ejemplares parecen ser retrabajados (Arz *et al.*, 1999b).

Inicialmente, Smit (1982) consideró que todos o casi todos estos ejemplares eran retrabajados y por consiguiente que ninguna especie, excepto *G. cretacea*, sobrevivió al evento del límite K/T. Posteriormente, se mostró que algunas de las especies cretácicas encontradas en la parte inferior del Da-

niense, inicialmente consideradas como retrabajadas (Smit, 1982), presentaban una señal isotópica $\delta^{18}O$ y $\delta^{13}C$ del Paleoceno y debían ser consideradas como supervivientes (Barrera y Keller, 1990, 1994; Keller, *et al.*, 1993; Keller, 1993; Huber *et al.*, 1996; Macleod y Huber, 1996). Sin embargo, la existencia de ejemplares cretácicos retrabajados puede ser relativamente frecuente en las primeras muestras del Daniense, aspecto que ha sido comprobado, también, isotópicamente (Huber, 1991, 1996).

En este trabajo, se han considerado como posibles supervivientes a 17 especies de foraminíferos planctónicos, por su abundancia y continuidad en la parte basal del Daniense: *Guembelitria cretacea, G. trifolia, Heterohelix globulosa, H. navarroensis, H. pulchra, H. labellosa, H. glabrans, H. planata, Hedbergella holmdelensis, H. monmouthensis, Globigerinelloides prairiehillensis, G. yaucoensis, G. subcarinatus, G. volutus, Pseudoguembelina costulata, P. kempensis* y *Globotruncanella caravacaensis.* La posible supervivencia de algunas de ellas, como *H. globulosa, H. navarroensis, G. cretacea, G. trifolia, H. holmdelensis* y *H. monmouthensis*, ha sido comprobada isotópicamente en otros cortes (Barrera y Keller, 1990, 1994; Keller *et al.*, 1993; Huber, 1996; MacLeod y Huber, 1996).

Sin embargo, en el corte de Caravaca, Kaiho y Lamolda (1999) han evidenciado, mediante análisis isotópico de $\delta^{13}C$, que todas, o casi todas las especies cretácicas de foraminíferos planctónicos de la parte basal del Paleoceno pueden ser retrabajadas. En este trabajo, se estudió la señal isotópica de 12 especies cretácicas, incluyendo especies muy abundantes como *G. cretacea, H. globulosa* o *H. navarroensis.* Aunque los datos de tipo isotópico pueden presentar problemas de tipo diagenético u ontogenético, los resultados obtenidos por Kaiho y Lamolda (1999) obligan a considerar las especies cretácicas de la parte basal del Daniense de Caravaca solamente como posibles supervivientes.

Si se considera como posibles supervivientes a las 17 especies cretácicas citadas anteriormente, se puede observar que su porcentaje desciende bruscamente desde el límite K/T. En la figura 6 se muestra el porcentaje de especímenes cretácicos (excepto *Guembelitria*) durante el tránsito K-T. La curva descendente que se observa en la parte correspondiente al Paleoceno es lo que los autores han llamado en Arz *et al.* (1999a) como curva ARECS (abundancia relativa de las especies cretácicas 'supervivientes'). La curva ARECS en Caravaca sigue una ecuación polinómica con coeficiente no entero, que se ajusta aproximadamente a la curva $Y = 149{,}88.X^{-0{,}949}$ (con coeficiente de aproximación de $r = 0{,}6683$), siendo X el número de muestra en centímetros (X=0 el límite K/T), e Y el porcentaje de especímenes cretácicos en dicha muestra.

Arz *et al.* (1999a) interpretaron las curvas ARECS como el producto del descenso progresivo en abundancia de las especies cretácicas que sobreviven. Sin embargo, los autores no han podido evidenciar tal interpretación con criterios de reelaboración seguros y, además, Kaiho y Lamolda (1999) sugirieron que la mayor parte de los ejemplares son, en realidad, retrabajados. Se debe hacer notar, por otro lado, 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. Quizás exista una relación estadística entre ambos términos y, en este caso, las curvas ARECS podrían representar, simplemente, el descenso a lo largo de la parte inferior del Daniense de la proporción relativa de ejemplares retrabajados (Arz *et al.*, 1999a).

No obstante, 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 en coincidencia con el límite K/T. Además, las curvas ARECS indican, claramente, que después de la estabilidad manifiesta en la parte superior del Maastrichtiense le sigue una brusca extinción en el límite K/T y un descenso brusco de la abundancia de las especies cretácicas posiblemente supervivientes.

PATRON DE EXTINCION Y SUS CAUSAS

La hipótesis catastrofista sugiere la existencia de un modelo de extinción en masa catastrófica en el límite K/T. Esta hipótesis es compatible con la del impacto meteorítico de Alvarez *et al.* (1980), los cuales proponen una relación causa-efecto entre el impacto del asteroide y la extinción. La hipótesis impactista es, además, la hipótesis mejor documentada y parece estar avalada por la existencia de

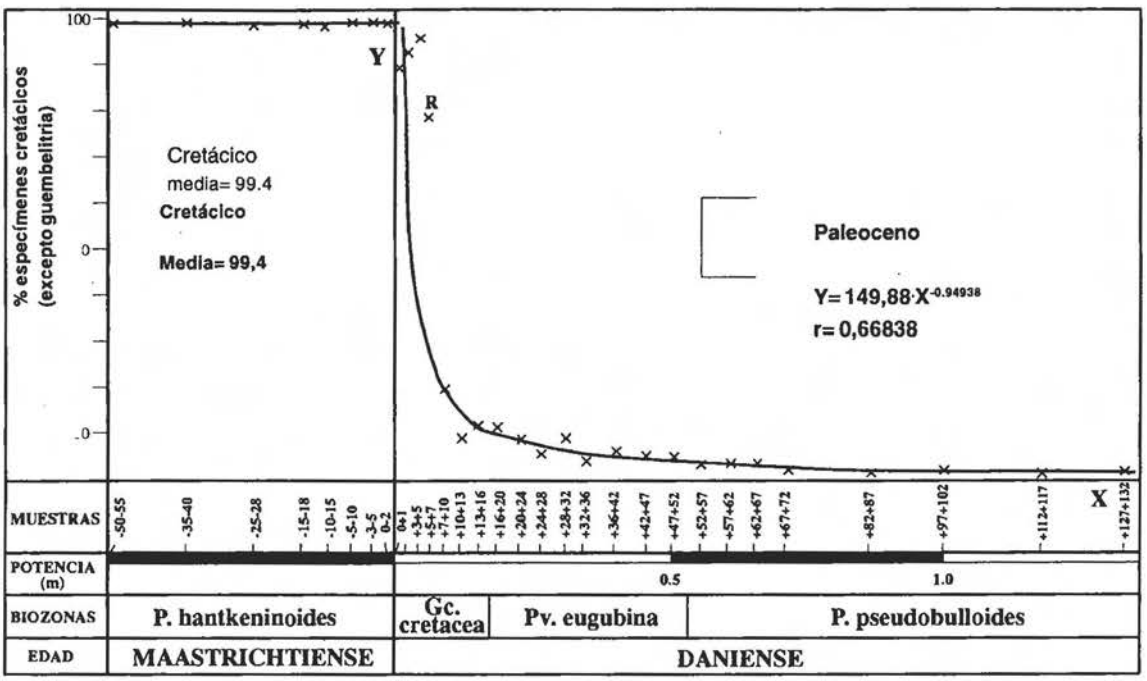


FIG. 6. Curva ARECS (abundancia relativa de especies cretácicas 'supervivientes') de Caravaca.

cuarzo de impacto, Ir y otros elementos siderófilos en altas proporciones, espinelas de níquel, nanodiamantes y microtectitas (Smit, 1982; Smit y Kate, 1982; Kyte *et al.*, 1985) y el hallazgo de un posible cráter en la península del Yucatán (México) en coincidencia con el límite K/T (Hildebrand *et al.*, 1991). La extinción en masa catastrófica coincide con la base del nivel arcilloso que contiene las evidencias de impacto.

La hipótesis gradualista sugiere, por el contrario, que el modelo de extinción es gradual a lo largo del tránsito K-T y que en el límite K/T tan sólo existe una aceleración más o menos ligera de las extinciones. Se han propuesto varias hipótesis para explicar globalmente este modelo de extinción gradual en el límite K/T, pero destaca la hipótesis del escenario múltiple (Keller, 1988; Canudo *et al.*, 1991) que combina los efectos climáticos de un incremento en la intensidad volcánica (MacLean, 1985; Khadkikar *et al.*, 1999), cambios eustáticos y paleoceanográficos (Keller *et al.*, 1995) y el posible impacto de un meteorito. Esta hipótesis se basa en que las causas de tipo terrestre (cambios geotectónicos, paleogeográficos, volcánicos y eustáticos) suelen afectar a la distribución general de las paleocorrientes marinas y provocar cambios en la química y salinidad de los océanos así como en el clima terrestre.

Un escenario múltiple debería provocar un modelo de extinción más gradual. Los eventos de tipo volcánico y eustático suelen repetirse en el tiempo y podrían provocar desapariciones locales o extinciones en masa graduales en intervalos de tiempo reconocibles, pero no una única extinción en masa catastrófica a nivel mundial. Se debe recordar que, por ejemplo, las extensas formaciones volcánicas del Deccan (India), que algunos han relacionado con el evento del límite K/T, se formaron durante un período aproximado de 2 Ma (Courtillot *et al.*, 1986). En este sentido, Keller (1988, 1989a, b) fue el primero en sugerir que los patrones de extinción de foraminíferos planctónicos identificados en El Kef (Tunicia) y Brazos River (Texas) eran graduales. Keller *et al.* (1995) concluyeron con el estudio del corte de El Kef que las extinciones graduales estaban ocasionadas por cambios eustáticos y paleoceanográficos globales que, en El Kef, habían provocado una somerización local de la zona de mínima oxigenación. El estudio de cortes de altas latitudes (Keller, 1993; Keller *et al.*, 1993) parece

apoyar esta hipótesis, ya que parecen sugerir, también, un patrón de extinción gradual que empieza antes del límite K/T. Razones similares se han argüido para las regiones ecuatoriales, como en el corte de Guayaquil, Ecuador (Keller *et al.*, 1997). Todas estas interpretaciones indican, según sus autores, que el impacto de un meteorito no puede ser la causa principal de los cambios faunísticos identificados.

Evidentemente, los foraminíferos constituyen uno de los mejores indicadores bioestratigráficos y paleoecológicos. La hipótesis gradualista se confirmaría en el caso de que se observaran cambios no sólo de tipo bioestratigráfico, sino también de tipo cuantitativo antes del límite K/T. Estos cambios cuantitativos estarían ocasionados por los supuestos cambios de tipo paleoclimático y paleoceanográfico previos al límite y, además de ser importantes, serían globales. El hecho notable es que estos cambios no han sido observados en Caravaca ni en otros cortes del Tetis, como Agost, El Kef, Elles o Aïn Settara, o del Atlántico Norte, como Zumaya (Molina *et al.*, 1998). El análisis cuantitativo del Maastrichtiense terminal de los cortes citados parece indicar una estabilidad evolutiva en los foraminíferos planctónicos, sin ninguna evidencia de cambios de tipo paleoceanográfico o paleoecológicos ni locales ni globales. De la misma forma, Coccioni y Galeotti (1994) indicaron que, en el corte de Caravaca, los foraminíferos bentónicos tampoco presentan variaciones cuantitativas importantes durante este periodo de tiempo. La gran estabilidad de las asociaciones de foraminíferos en el Maastrichtiense Superior no es muy compatible con la hipótesis gradualista de las causas múltiples. Por otro lado, independientemente de que se demuestre o no la supervivencia de diversas especies cretácicas, la extinción identificada es la mayor de la historia evolutiva de los foraminíferos planctónicos. El evento de extinción en masa catastrófica y su coincidencia con las evidencias de impacto es muy compatible con la hipótesis del impacto de un asteroide. La rápida extinción de los foraminíferos planctónicos pudo estar relacionada con el cese de la fotosíntesis del fitoplancton debido al oscurecimiento atmósferico que acompañó al impacto del asteroide y que pudo bloquear el 99% de la luz solar (Milne y McKay, 1982). Esta extinción pudo ser acelerada, también, por la acidificación de la superficie marina debido a la contaminación química y la lluvia ácida (ácidos nítrico y sulfúrico) derivado de la volatilización de SO_2 (Sigurdsson *et al.*, 1991). En Caravaca, Kaiho *et al.* (1999) han identificado un rápido descenso del $\delta^{13}C$ y de la abundancia de fósforo, lo que sugiere un rápido colapso del medio planctónico. El descenso de la productividad superficial pudo provocar, a su vez, importantes variaciones en las asociaciones de foraminíferos bentónicos, tal como se ha identificado en el propio corte de Caravaca (Coccioni y Galeotti, 1994, 1998).

Las características sedimentológicas, geoquímicas, isotópicas y micropaleontológicas del final del Maastrichtiense y de la parte basal del Daniense son completamente diferentes. Este cambio se produce justo en el nivel rojo de la base de la arcilla del límite K/T, donde se han identificado las diversas evidencias de impacto meteorítico (Smit, 1982). El patrón de extinción gradual identificado en la parte basal del Daniense y los cambios sedimentológicos posteriores pueden ser una consecuencia de los efectos secundarios a medio y largo plazo del impacto. Algunos de estos efectos secundarios pudieron ser el efecto invernadero inducido por el CO_2 volatilizado (O' Keefe y Ahrens, 1989) y la destrucción de los grandes consumidores fotosintéticos de CO_2, como el fitoplancton (Hsü y McKenzie, 1989; D'Hondt, 1994; D'Hondt *et al.*, 1996). Por otro lado, la competencia biológica entre las especies cretácicas supervivientes y las primeras especies terciarias pudieron provocar la desaparición de las últimas especies cretácicas. La radiación evolutiva post-K/T es, también, muy compatible con la teoría impactista de la extinción en masa catastrófica, ya que la radiación siempre comienza justo después del límite y nunca antes (Fig. 3). La ausencia de especiaciones en el Maastrichtiense final no es compatible con la hipótesis gradualista de las causas múltiples, porque esta hipótesis implicaría la evolución de nuevas especies a lo largo de todo el tránsito K-T y no sólo por encima del límite K/T.

CONCLUSIONES

El estudio bioestratigráfico y cuantitativo con foraminíferos planctónicos del tránsito K-T en el corte de Caravaca ha permitido comprobar la continuidad estratigráfica y la estabilidad de las asociaciones en la parte superior del Maastrichtiense. La diversidad específica de foraminíferos planctónicos es muy alta, dominada claramente por las especies cosmopolitas y de aguas superficiales, pero encontrándose, también, casi todas las formas especializadas tropicales-subtropicales. Los diversos indicadores paleoecológicos estudiados en Caravaca no muestran cambios cuantitativos importantes durante el Maastrichtiense Superior.

En Caravaca, el patrón de extinción de foraminíferos planctónicos que mejor se ajusta es el de una extinción en masa catastrófica, en el que el 74% de las especies se extinguen en coincidencia con el límite K/T y las evidencias de impacto meteorítico. Las supuestas extinciones sugeridas por otros autores en Caravaca estarían ocasionadas por el efecto Signor-Lipps, ya que afecta con mayor intensidad a las especies raras. La minimización del efecto Signor-Lipps en el estudio bioestratigráfico ha permitido mostrar la continuidad de la distribución estratigráfica de las diversas especies en el Maastrichtiense Superior de Caravaca.

En este trabajo se han considerado 17 especies cretácicas como posibles supervivientes al evento del límite K/T, cuya abundancia relativa desciende bruscamente desde el límite K/T (curva ARECS). Este descenso del porcentaje de especies cretácicas, en la parte basal del Daniense, puede ser una consecuencia del descenso progresivo en abundancia de las especies cretácicas que se extinguieron debido a la competencia biológica con las nuevas especies terciarias, pero si todas estas especies fueran realmente retrabajadas, la curva ARECS representaría, simplemente, el descenso a lo largo de la parte inferior del Daniense de la proporción relativa de ejemplares retrabajados.

El patrón de extinción de foraminíferos planctónicos identificado en Caravaca es muy similar al de los cortes tetisianos de Agost, Aïn Settara, El Kef y Elles. Esta extinción en masa catastrófica es muy compatible con la hipótesis del impacto de un asteroide y sus efectos a corto, medio y largo plazo. La gran estabilidad de las asociaciones de foraminíferos planctónicos y la ausencia de especiaciones en el Maastrichtiense Superior no es compatible con la hipótesis gradualista de las causas múltiples.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los revisores S. Ballent (Museo de Ciencias Naturales de la Plata, Argentina) y R. Martínez- Pardo (Museo Natural de Historia Natural, Chile), así como a un evaluador anónimo, las valiosas sugerencias que han permitido mejorar el presente trabajo. Este trabajo se ha realizado dentro de los proyecto de México CONACYT No. J32473T y PAICYT No. CT193-99 y del proyecto de España DGES No. PB97-1016.

REFERENCIAS

Abtahi, M. 1975. Stratigraphische und mikropalaontologische Untersuchung der Kreide/Althertiar Grenze im Barranco del Gredero (Caravaca, Prov. Murcia SE-Spanien). *Revista Española de Micropiaeontoiogía*, Vol. 7, p. 15-64.

Alvarez, L.W.; Alvarez, W.; Asaro, F.; Michel, H.V. 1980. Extraterrestial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, Vol. 208, p. 1095-1108.

Apellaniz, E.; Baceta, J.I.; Bernaola-Bilbao, G.; Núñez-Betelu, K.; Orue-Extebarría, X.; Payros, A.; Pujalte, V.; Robin, E.; Rocchia, 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 planktonic foraminifer species at the K/T boundary.

Societé Géologique de France, Bulletin, Vol. 168, No. 6, p. 783-793.

Arenillas, I.; Molina, E. 1997. Análisis cuantitativo de los foraminíferos planctónicos del Paleoceno de Caravaca (Cordilleras Béticas): Cronoestratigrafía, bioestratigrafía y evolución de las asociaciones. *Revista Española de Paleontología*, Vol. 12, No. 2, p. 207-232.

Arenillas, I.; Arz, J.A.; Molina, E. 1998. El límite Cretácico/Terciario de Zumaya, Osinaga y Musquiz (Pirineos): control bioestratigráfico y cuantitativo de hiatos con foraminíferos planctónicos. *Sociedad Geológica de España, Revista*, Vol. 11, Nos. 1-2, p. 123-134.

Arenillas, I.; Arz, J.A.; Molina, E.; Dupuis, C. En prensa. Planktic foraminiferal independent test across the Cretaceous/Paleogene (K/P) boundary at El Kef (Tunisia): catastrophic mass extinction and possible survivorship. *Micropaleontology*, Vol. 46, No. 1.

Arz, J.A.; Arenillas, I. 1998. Extinción en masa catastrófica de foraminíferos planctónicos en el límite Cretácico/Terciario del Pirineo occidental (España). *Sociedad Mexicana de Paleontología, Revista*, Vol. 8, No. 2, p. 146-162.

Arz, J.A.; Arenillas, I.; Molina, E.; Dupuis, C. 1999a. Los efectos tafonómico y 'Signor-Lipps' sobre la extinción en masa de foraminíferos planctónicos en el límite Cretácico/Terciario de Elles (Tunicia). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, Vol. 12, No. 2, p. 251-268.

Arz, J.A.; Arenillas, I.; Molina, E. 1999b. Extinción de foraminíferos planctónicos en el tránsito Cretácico-Terciario de Zumaya (Guipúzcoa): ¿supervivencia o reelaboración? *Revista Española de Micropaleontología*, Vol. 31, No. 3, p. 297-304.

Barrera, E.; Keller, G. 1990. Stable isotope evidence for gradual enviromental changes and species survivorship across the Cretaceous/Tertiary boundary. *Paleoceanography*, Vol. 5, p. 867-890.

Barrera, E.; Keller, G. 1994. Productivity across the Cretaceous-Tertiary boundary in high latitudes. *Geological Society of America, Bulletin*, Vol. 106, p. 1254-1266.

Berggren, W.A.; Kent, D.V.; Swisher, C.C., III.; Aubry, M.P. 1995. A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. *In* Geochronology, time scales and global *stratigraphic* correlation (Berggren, W.A.; Kent, D.V.; Aubry, M.P.; Hardenbol, J.; editors). *Society of Economic Palentologists and Mineralogists; Society for Sedimentary Geology, Special Publication*, Vol. 54, p. 129-212.

Bolli, H.M. 1966. Zonation of Cretaceous to Pliocene marine sediments based on Planktonic foraminifera. *Asociación Venezolana de Geología Minera y Petrolera, Boletín informativo*, Vol. 9, p. 1-34.

Brinkhuis, H.; Zachariasse, W.J. 1988. Dinoflagellate cysts, sea level changes and planktonic foraminifers across the Cretaceous-Tertiary boundary at El Haria, Northwest Tunisia. *Marine Micropaleontoiogy*, Vol. 13, p. 153-191.

Bronnimann, P. 1952. Globigernidae from the Upper Cretaceous (Cenomanian-Maastrichtian) of Trinidad. *American Paleontology, Bulletin*, Vol. 34, No. 140., p. 1-30.

Canudo, J.I.; Keller, G.; Molina, E. 1991. Cretaceous/Tertiary boundary extinction pattern and faunal turnover at Agost and Caravaca, SE Spain. *Marine Micropaleontology*, Vol. 17, p. 319-341.

Courtillot, V.E.; Besse, J.; Vandamme, D.; Montigny, R.; Jaeger, J.J.; Capetta, H. 1986. Deccan flood basalt at the Cretaceous/Tertiary boundary. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 80, p. 361-374.

D'Hondt, S.L. 1994. The evidence for a meteorite impact at the Cretaceous-Tertiary boundary. *In* Extinción y Registro fósil. (Molina, E.; editor). *SIUZ, Cuadernos Interdisciplinares*, Vol. 5, p. 75-95.

D'Hondt, S.; Herbert, T.D.; King, J.; Gibson, C. 1996. Planktonic foraminifera, asteroids and marine production: Death and recovery at Cretaceous-Tertiary boundary. *Geological Society of America, Special Paper*, Vol. 307, p. 310-317.

Dupuis, C.; Steurbaut, E.; Molina, E.; Rauscher, R.; Tribovillard, N.P.; Arenillas, I.; Arz, J.A.; Robaszynski, F.; Caron, M.; Robin, E.; Rochia, R.; Lefevre, I.; Schuler, M.; Larque, P. En prensa. Biotic evolution and events across the CretaceousTertiary (K/T) boundary at Aïn Settara section (Kalaat-Senan area, Central Tunisia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.

Ginsburg, R.N. 1997. Perspectives on the blind test. *Marine Micropaleontology*, Vol. 29, No. 2, p. 67-68.

Hildebrand, A.R.; Penfield, G.T.; Kring, D.A.; Pilkington, N.; Camargo, A.: Jacobsen, S.B.; Boynton, W.V. 1991. Chicxulub crater: a possible Cretaceous-Tertiary boundary impact crater on the Yucatan Peninsula, Mexico. *Geology*, Vol. 19, p. 867-871.

Hillebrandt, A. von. 1974. Bioestratigrafía del Paleogeno en el Sureste de España (Provincias de Murcia y Alicante). *Cuadernos de Geología*, Vol. 5, p. 135-153.

Huber, B.T. 1991. Maaestrichtian planktonic foraminifer biostratigraphy and the Cretaceous/Tertiary boundary at hole 738C (Kerguelen plateau, Southern indian Ocean). *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, Vol. 119, p. 451-465.

Huber, B.T. 1996. Evidence for planktonic foraminifer reworking *versus* survivorship across the Cretaceous-Tertiary boundary at high latitudes. *In* The Cretaceous-Tertiary even and other catastrophes in Earth history (Ryder, G.; *et al.*; editors). *Geological Society of America, Special Paper*, Vol. 307, p. 319-334.

Hsü, K.J.; McKenzie, J. 1989. A 'Strangelove' ocean in the earliest Tertiary. *In* The carbon cycle an atmospheric CO_2: Natural variations Archian to Present (Broecker, V.S.; Sundquist, T.; editors). *American Geophysics Union, Monography*, Vol. 32, p. 487-492.

Ion, J. 1993. Upper Cretaceous planktonic foraminiferal biostratigraphy from the Carpathians and northern Dobrogea (Romania) related to macropaleontological

zonation. *Romanian Journal of Stratigraphy*, Vol. 75, p. 41-53.

Kaiho, K.; Lamolda, M. 1999. Catastrophic extinction of planktonic foraminifera at the Cretaceous-Tertiary boundary evidenced by stable isotopes and foraminiferal abundance at Caravaca, Spain. *Geology*, Vol. 27, No. 4, p. 355-358.

Keller, G. 1988. Extinction, survivorship and evolution of Planktonic Foraminifera across the Cretaceous/Tertiary boundary at El Kef, Tunisia. *Marine Micropaleontology*, Vol. 13, p. 239-263.

Keller, G. 1989a. Extended Cretaceous/Tertiary boundary extinctions and delayed population change in planktonic foraminiferal faunas from Brazos River, Texas. *Paleoceanography*, Vol. 4, p. 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. *Geological Society of America, Bulletin*, Vol. 101, p. 1408-1419.

Keller, G. 1993. The Cretaceous-Tertiary boundary transition in the Antarctic Ocean and its global implications. *Micropaleontology*, Vol. 21, p. 1-45.

Keller, G. 1996. The Cretaceous-Tertiary mass extinction in planktonic foraminitera: biotic constraints for catastrophe theories. *In* Cretaceous-Tertiary mass extinctions: biotic and environmental changes (MacLeod, N.; Keller, G.; editors). *Norton & Company*, p. 49-84. New York.

Keller, G. 1997. Analysis of El Kef blind test 1. *Marine Micropaleontology*, Vol. 29, p. 89-93.

Keller, G.; Barrera, E.; Schmitz, B.; Mattson, E. 1993. Long-term oceanic instability but no mass extinction or major $\delta^{13}C$ shift in planktic foraminifera across the Cretaceous/Tertiary boundary in Northern high latitudes: Evidence from Nye Klov, Denmark. *Geological Society of America, Bulletin*, Vol. 105, p. 979-997.

Keller, G.; Li, L.; MacLeod, N. 1995. The Cretaceous/Tertiary boundary stratotype sections at El Kef, Tunisia: How catastrophic was the mass extinction?. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 119, p. 221-254.

Keller, G.; Adatte, T.; Hollis, Ch.; Ordóñez, M.; Zambrano, I.; Jiménez, N.; Stinnesbeck, W.; Aleman, A.; Hale-Erlich, W. 1997. The Cretaceous/Tertiary boundary event in Ecuador: reduced biotic effects due to eastern boundary current setting. *Marine Micropaleontology*, Vol. 31, p. 97-133.

Khadkikar, A.S.; Sant, D.A., Gogte, V.; Karanth, R.V. 1999. The influence of Deccan volcanism on climate: insights from lacustrine intertrappean deposits, Anjar, western India? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 147, p. 141-149.

Kyte, F.T.; Smit, J.; Wasson, J.T. 1985. Siderophile interelement variations in the Cretaceous-Tertiary boundary sediments from Caravaca, Spain. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 73, p. 183-195.

Luciani, V. 1997. Planktonic foraminiferal turnover across the Cretaceous-Tertiary boundary in the Vajont valley (Southern Alps, northern Italy). *Cretaceous Research*, Vol. 18, p. 799-821.

Luterbacher, H.P.; Premoli Silva, I. 1964. Biostratigrafia del limite Cretaceo-Terziario nell Apennino Centrale. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, Vol. 70, No. 1, p. 67-128.

MacLean, D.M. 1985. Deccan traps mantle degassing in the terminal Cretaceous marine extinctions. *Cretaceous Research*, Vol. 6, p. 235-259.

MacLeod, N. 1996. The nature of the Cretaceous-Tertiary planktonic foraminiferal record: stratigraphic confidence intervals, Signor-Lipps effect, and patterns of survivorship. *In* Cretaceous-Tertiary mass extinctions: biotic and environmental changes (MacLeod, N.; Keller, G.; editors). *Norton & Company*, p. 85-138. New York.

MacLeod, N.; Keller, G. 1994. Comparative biogeographic analysis of planktonic foraminiferal survivorship across the Cretaceous/Tertiary boundary. *Paleobiology*, Vol. 20, p. 143-177.

MacLeod, N.; Huber, B.T. 1996. Strontium isotopic evidence for extensive reworking in sediments spanning the Cretaceous-Tertiary boundary at ODP Site 738. *Geology*, Vol. 24, No. 5, p. 463-466.

Martínez, F.; Acquafredda, P.; Palomo, I.; Ortega, M. 1992. New data on the spherules from the Cretaceous-Tertiary boundary layer at Caravaca (SE Spain). *Geogaceta*, No. 12, p. 30-32.

Maurrasse, F.J.M.R. 1980. New data on the Stratigraphy of the Southern Peninsula of Haiti. *In* premier colloque sur la Géologie d'Haïti, p. 184-198. Port au Prince.

Milne, D.H.; McKay, C.P. 1982. Response of marine plankton communities to a global atmospheric darkening. *Geological Society of America, Special Paper*, Vol. 190, p. 297-303.

Molina, E. 1994. Aspectos epistemológicos y causas de la extinción. *In* Extinción y registro fósil (Molina, E.; editor). *SIUZ Cuadernos Interdisciplinares*, Vol. 5, p. 11-30. Zaragoza.

Molina, E. 1995. Modelos y causas de extinción masiva. *Interciencia*, Vol. 20, No. 2, p. 83-89.

Molina, E.; Arenillas I.; Arz, J.A. 1996. The Cretaceous/Tertiary boundary mass extinction in planktonic foraminifera at Agost (Spain). *Revue de Micropaleontologie*, Vol. 39, No. 3, p. 225-243.

Molina, E.; Arenillas, I.; Arz, J.A. 1998. Mass extinction in planktonic foraminifera at the Cretaceous/Tertiary boundary in subtropical and temperate latitudes. *Societé Géologique de France, Bulletin*, Vol. 169, No. 3, p. 351-363.

Nederbragt, A.J. 1990. Biostratigraphy and paleoceanographic potencial of the Cretaceous planktonic foraminifera Heterohelicidae. Tesis Doctoral (Unpublished), *Central Huisdrukkerij Vrije Universiteit*, 204 p. Amsterdam.

O'Keefe, F.D.; Ahrens, T.J. 1989. Impact production of $C0_2$ by the Cretaceous-Tertiary extinction bolide and

the resultant heating of the Earth. *Nature*, Vol. 338, p. 247-249.

Olsson, R.K.; Liu C. 1993. Controversies on the placement of Cretaceous-Paleogene boundary and the K/P mass extinction of planktonic foraminifera. *Palalos*, Vol. 8, p. 127-139.

Pardo, A.; Ortíz, N.; Keller, G. 1996. Latest Maastrichtian and Cretaceous-Tertiary boundary foraminiferal turnover and environmental changes at Agost, Spain. *In* Cretaceous-Tertiary mass extinctions. Biotic and environmental changes (MacLeod, N.; Keller, G.; editors). *Norton Press*, p. 139-171. New York.

Robin, E.; Boclet, D.; Bonte, P.; Froget, L.; Jehanno, C.; 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 and Planetary Science Letters*, Vol. 107, p. 715-721.

Russell, D.A. 1975. Reptilian diversity and the Cretaceous-Tertiary transition in North America. *Geological Association of Canada, Special Paper*, Vol. 13, p. 119-136.

Signor, P.W.; Lipps, J.H. 1982. Sampling bias, gradual extinction patterns and catastrophes in the fossil record. *Geological Society of America, Special Paper*, Vol. 190, p. 291-296.

Sigurdsson, H.; D'Hondt, S.; Arthur, M.A.; Bralower, T.J.; Zachos, J.C.; Fossen, M.V.; Channell, E.T. 1991. Glass from the Cretaceous/Tertiary boundary in Haiti. *Nature*, Vol. 349, p. 482-487.

Smit, J. 1982. Extinction and evolution of planktonic foraminifera after a major impact at the Cretaceous/Tertiary boundary. *Geological Society of America, Special Paper*, Vol. 190, p. 329-352.

Smit, J. 1990. Meteorite impact, extinctions and the Cretaceous-Tertiary boundary. *Géologie en Mijnbouw*, Vol. 69, p. 187-204.

Smit, J.; Hertogen, J. 1980. An extraterrestrial event at the Cretaceous-Tertiary boundary. *Nature*, Vol. 285, p. 198-200.

Smit, J.; Ten Kate, W.G.H.Z. 1982. Trace-element patterns at the Cretaceous-Tertiary boundary-consequences of a large impact. *Cretaceous Research*, Vol. 3, No. 3, p. 307-332.

Smit, J.; Nederbragt, A.J. 1997. Analysis of the El Kef blind test II. *Marine Micropaleontology*, Vol. 29, p. 95-100.

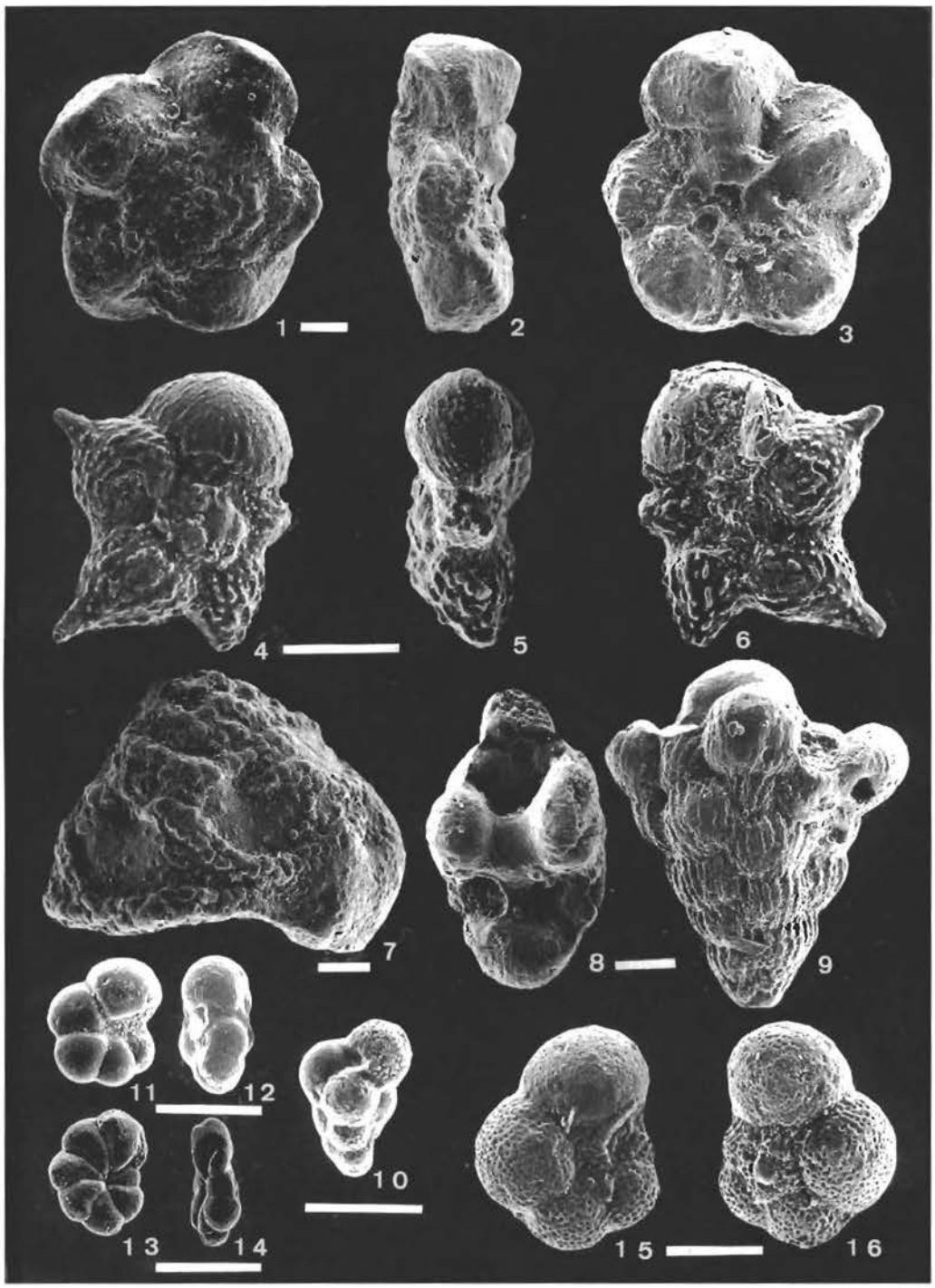
Manuscrito recibido: Agosto 25. 1999; aceptado: Abril 17, 2000.

LAMINA 1

LAMINA 1

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 μ).

Figuras

1, 2 y 3	*Abathomphalus mayaroensis* (Bolli), lado dorsal, axial y ventral, muestra 0-2.
4, 5 y 6	*Plummerita hantkeninoides* (Bronnimann), lado dorsal, axial y ventral, muestra 0-2.
7	*Contusotruncana contusa* (Cushman), lado axial, muestra 0-2.
8 y 9	*Racemiguembelina powelli* Cushman y Todd, lado ventral y frontal, muestra 0-2.
10	*Guembelitria cretacea* (Cushman), lado frontal, muestra +7+10.
11 y 12	*Parvularugoglobigerina eugubina* (Luterbacher y Premoli Silva), lado ventral y axial, muestra +28+32.
13 y 14	*Parvularugoglobigerina longiapertura* (Blow), lado ventral y axial, muestra +7+10.
15 y 16	*Parasubbotina pseudobulloides* (Plummer), lado ventral y dorsal, muestra +97+102.

LAMINA 1