

EL LÍMITE CRETÁCICO/TERCIARIO EN ZUMAYA, OSINAGA Y MÚSQUIZ (PIRINEOS): CONTROL BIOESTRATIGRÁFICO Y CUANTITATIVO DE HIATOS CON FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS

I. Arenillas^{1,2}, J. A. Arz³ y E. Molina¹

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

² Institut und Museum für Geologie und Paläontologie, Universität Tübingen, D-72076 Tübingen, Alemania.

³ Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, MEX-67700 Linares, México.

Resumen: El estudio bioestratigráfico y cuantitativo con foraminíferos planctónicos de tres cortes del Pirineo (Zumaya, Osinaga y Músquiz) nos permite reconocer, controlar y cuantificar la expansión de hiatos en el límite Cretácico-Terciario (K/T). El estudio comparativo con otros cortes de latitudes subtropicales y templadas ha permitido establecer cinco intervalos de tipo cuantitativo en el tránsito Cretácico-Terciario: 0) asociación faunística típica de la parte superior del Maastrichtiense, 1) predominio de *Guembelitra* y de otros géneros cretácicos (*Hedbergella* y *Heterohelix*) persistentes en la base del Daniense, 2) predominio de *Parvularugoglobigerina* y *Globoconusa*, 3) predominio de *Chiloguembelina* y *Woodringina* y, finalmente, 4) predominio de *Eoglobigerina*, *Parasubbotina*, *Subbotina*, *Praemurica* y *Globanomalina*. Estos intervalos cuantitativos han sido reconocidos en los perfiles de Zumaya, corroborando su continuidad estratigráfica, y hemos identificado un pequeño hiato en los cortes de Osinaga y Músquiz, el cual abarca el techo de la Biozona de *Pseudoguembelina hariaensis*, la Biozona de *Guembelitra cretacea* y la parte inferior de la Biozona de *Parvularugoglobigerina eugubina*.

Palabras clave: Foraminíferos planctónicos, bioestratigrafía, análisis cuantitativo, Maastrichtiense, Daniense.

Abstract: The planktic foraminiferal biostratigraphic and quantitative study of three sections in the Pyrenees (Zumaya, Osinaga and Músquiz) allows us to recognize, control and quantify the hiatus span across the Cretaceous-Tertiary (K/T) boundary. The compared study of other subtropical and temperate latitude continuous sections has allowed to establish five quantitative episodes across the K/T boundary: 0) typical faunal association of the uppermost part of the Maastrichtian 1) predominance of *Guembelitra* and other surviving Cretaceous genera (*Hedbergella* and *Heterohelix*) to the K/T event, 2) predominance of *Parvularugoglobigerina* and *Globoconusa*, 3) predominance of *Chiloguembelina* and *Woodringina* and, finally, 4) predominance of *Eoglobigerina*, *Parasubbotina*, *Subbotina*, *Praemurica* and *Globanomalina*. These quantitative episodes have been recognized at the Zumaya sections corroborating their sedimentary continuity and we have identified a little expanded hiatus in the Osinaga and Músquiz sections, which affects the top of the *Pseudoguembelina hariaensis* Biozone, the *Guembelitra cretacea* Biozone and the base of the *Parvularugoglobigerina eugubina* Biozone.

Keywords: Planktic Foraminifera, biostratigraphy, quantitative analysis, Maastrichtian, Danian.

Arenillas, I., Arz, J.A. y Molina, E. (1998): El límite Cretácico/Terciario en Zumaya, Osinaga y Músquiz (Pirineos): control bioestratigráfico y cuantitativo de hiatos con foraminíferos planctónicos. *Rev. Soc. Geol. España*, 11(1-2): 127-138

La gran extinción de foraminíferos planctónicos que se produce en coincidencia con el límite Cretácico/Terciario (K/T) es uno de los criterios fundamentales para situar este límite en cortes de facies marinas. Los foraminíferos planctónicos fueron uno de los grupos de organismos más afectados por el evento (Luterbacher y Premoli Silva, 1964; Smit, 1982, 1990), desaparecien-

do en bajas latitudes el 70% de las especies cretácicas (Molina *et al.*, 1996, 1998; Arz, 1996). Sin embargo, el patrón de extinción fue más gradual de lo que inicialmente se había creído (Keller, 1988, 1989; Canudo *et al.*, 1991). La extinción del límite K/T fue selectiva (Keller *et al.*, 1995; Molina *et al.*, 1996, 1998), de manera que las especies tropicales-subtropicales se extin-

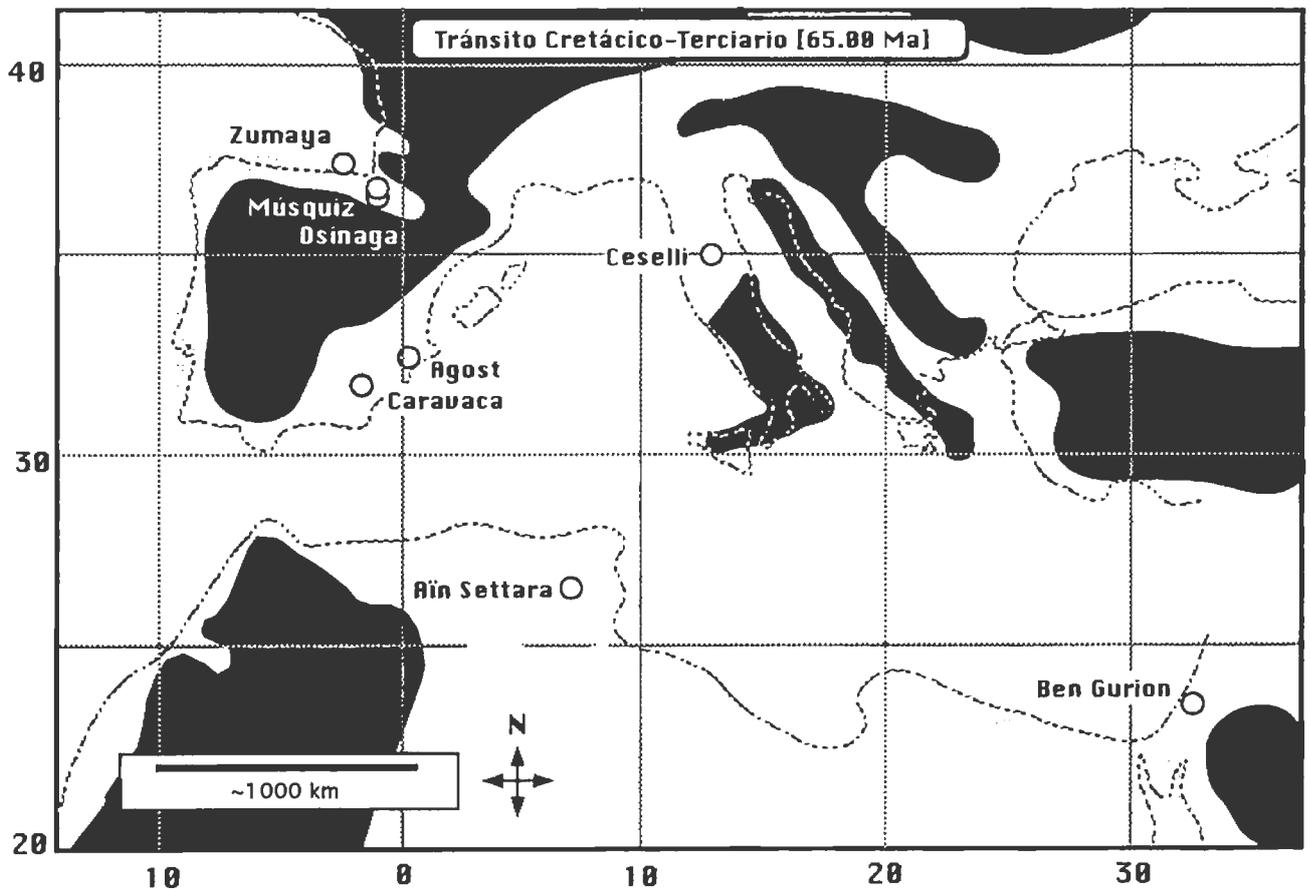


Figura 1.- Localización paleolatitudinal y paleogeográfica de los cortes de Zumaya, Osinaga y Músquiz y de otros cortes estudiados del Tethys

guieron en su totalidad y las especies cosmopolitas y pequeñas persistieron en la parte inferior del Daniense.

La extinción en masa de los foraminíferos planctónicos en el límite K/T representa uno de los debates más controvertidos de la micropaleontología (Molina, 1994, 1995; Keller, 1996; Pardo *et al.*, 1997). Actualmente, el debate científico se centra en determinar cuál es el modelo de extinción que mejor se ajusta al evento del límite K/T, ya que se han aportado argumentos que apoyan una hipótesis más catastrófica (Smit, 1982, 1990; Liu y Olsson, 1992; Olsson y Liu, 1993) y otros argumentos que apoyan una hipótesis más gradual (Keller, 1988, 1989, 1993; MacLeod, 1996; Pardo *et al.*, 1996). Sin embargo, estudios recientes indican que, en coincidencia con el límite K/T, se produce una extinción en masa catastrófica de foraminíferos planctónicos, compatible con la hipótesis impactista, pero superpuesta a otra gradual de menor entidad (Molina *et al.*, 1996, 1998; Arz y Arenillas, 1996; Dupuis *et al.*, en prensa; Arz *et al.*, en prensa).

MacLeod y Keller (1991a,b) y Keller *et al.* (1993) indican que la hipótesis catastrofista está basada originalmente en los sondeos de fondo oceánico del DSDP, en los cuales es más frecuente la presencia de hiatos. Este hecho ha podido provocar en el pasado interpretaciones erróneas sobre el modelo de extinción de los foraminíferos planctónicos en el límite K/T, el cual ha podido ser considerado más catastrófico de lo que realmente es (Keller *et al.*, 1995). Sin embargo, la ex-

tingción en masa catastrófica ha sido comprobada en otros cortes más someros y continuos (Molina *et al.*, 1996, 1998; Apellaniz *et al.*, 1997; Dupuis *et al.*, en prensa). Con el objetivo de evitar falsos modelos de extinción en el límite K/T, los hiatos estratigráficos deben ser suficientemente controlados. El conjunto de eventos evolutivos rápidos que acontecen tras el límite K/T (extinciones, especiaciones, cambios cuantitativos) permite establecer un control muy preciso de los hiatos, tanto a nivel bioestratigráfico como cuantitativo.

Con el objetivo de precisar el modelo que mejor se aproxima a la extinción del límite K/T, hemos realizado un estudio bioestratigráfico y cuantitativo de alta resolución que nos ha permitido descubrir, controlar y cuantificar la expansión de los hiatos que afectan al tránsito Cretácico-Terciario. Con esta finalidad, hemos estudiado y comparado tres cortes del Pirineo (Zumaya, Osinaga y Músquiz) los cuales presentan una diferente continuidad estratigráfica. El control de los hiatos en el límite K/T nos permite documentar y confirmar el modelo de extinción de los foraminíferos planctónicos en una área paleogeográfica que, además, está localizada en una posición intermedia entre bajas y altas latitudes (Fig. 1).

Localización geográfica y metodología

El corte de Zumaya está situado en la cuenca Vasco-pirenaica y más precisamente en la localidad de

EDAD	Marcadores biozonales	BIOZONACIONES						
		Este trabajo	Keller 1989, 1993 Pardo <i>et al.</i> 1996	Berggren <i>et al.</i> 1995	Canudo <i>et al.</i> 1991	Smit 1982	Bolli, 1966	
DANIENSE	S. triloculinoides	Parasubbotina pseudobulloides	P1b	P1b S. triloculinoides G. compressa	Subbotina pseudobulloides	P1c Globigerina pseudobulloides	P1b Eoglobigerina taurica	Globigerina pseudobulloides
	Pr. inconstans			P1a Pv. eugubina-Subbotina triloculinoides				
	Pv. eugubina							
	Pb. pseudobulloides	Parvularugoglob. eugubina	P1a	P1a(2)	Parvularugog. longiapertura	P1a G. eugubina	P1a G. eugubina	Globigerina eugubina
	Pv. longiapertura			P1a(1)				
	Pr. taurica							
	Pv. eugubina							
Gb. conusa Pv. longiapertura	Guembelitria cretacea	P0	P0 G. cretacea	G. cretacea	P0 G. cretacea	Sin Zonar		
MAASTRICHT.	P. hantkeninoides A. mayaroensis	Pseudoguembelina hariaensis	Plummerita hantkeninoides	Abathomphalus mayaroensis	Abathomphalus mayaroensis	Abathomphalus mayaroensis	Abathomphalus mayaroensis	
	P. hantkeninoides							
	P. hariaensis	Abathomphalus mayaroensis						
	A. mayaroensis							

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

Zumaya (Guipúzcoa). Se han levantado dos perfiles, Zumaya clásico y Zumaya 2, situados respectivamente al norte y al este de la población de Zumaya. La localización exacta de estos cortes pueden encontrarse en Arz *et al.* (en prensa). Los sedimentos de la parte superior del Maastrichtiense consisten en margas rojas con intercalaciones centimétricas de margas grises. La parte inferior del Daniense consiste en calizas blancas con intercalaciones de margas y margocalizas grises. El límite K/T viene marcado por una lámina diagenética de calcita de 1-2 cm de espesor, seguida de un nivel de arcilla gris oscura de 10 cm de espesor y un nivel de margas grises de 20 cm de espesor.

Los cortes de Osinaga y Músquiz están localizados en los Pirineos occidentales, al norte de Navarra. El primer corte se halla situado al sur de la localidad de Osinaga, en la carretera local que une Arístregui y Osinaga. El corte de Músquiz se sitúa al suroeste de la población, en el barranco de Zatarre. La localización exacta de estos cortes puede encontrarse en Arenillas *et al.* (1997). Los sedimentos de la parte superior del Maastrichtiense de ambos cortes consisten en margas grises y los sedimentos de la parte inferior del Daniense en calizas blancas con intercalaciones esporádicas de margas grises. El límite K/T viene marcado por una lámina roja con gran cantidad de óxidos de hierro, la cual ha sido interpretada como el producto de un hiato.

Los tres cortes del tránsito Cretácico-Terciario fueron muestreados en detalle en intervalos

centimétricos o decimétricos. Han sido estudiadas un total de 58 muestras, incluyendo 30 muestras de los perfiles de Zumaya, 15 muestras de Osinaga y 13 muestras de Músquiz. Las muestras fueron disgregadas en una disolución de H₂O₂, levigadas con un tamiz de 63 mm, tratadas con ultrasonidos y secadas en una estufa a menos de 50°C. El análisis cuantitativo ha sido realizado basándose en una fracción representativa del residuo de alrededor de 300 ejemplares por cada muestra, utilizando un microcuarteador tipo Otto. El resto del residuo también ha sido revisado con el fin de identificar las especies poco frecuentes. La conservación de los foraminíferos planctónicos es buena en las margas del Maastrichtiense y regular en las calizas del Daniense. Los datos de tipo cuantitativo están detallados en Arz (1996), Arenillas (1996), Arenillas *et al.* (1997), Arz *et al.* (en prensa).

Bioestratigrafía

La biozonación utilizada en el techo del Maastrichtiense está basada en las de Nederbragt (1991) y Arz (1996). Hemos utilizado la Biozona de *Pseudoguembelina hariaensis*, la cual es una biozona de extensión total (Fig. 2). Esta especie fue definida y utilizada como especie-índice por Nederbragt (1991), ya que es una de las pocas especies cuya primera aparición (P.A.) es posterior a la P.A. de *Abathomphalus*

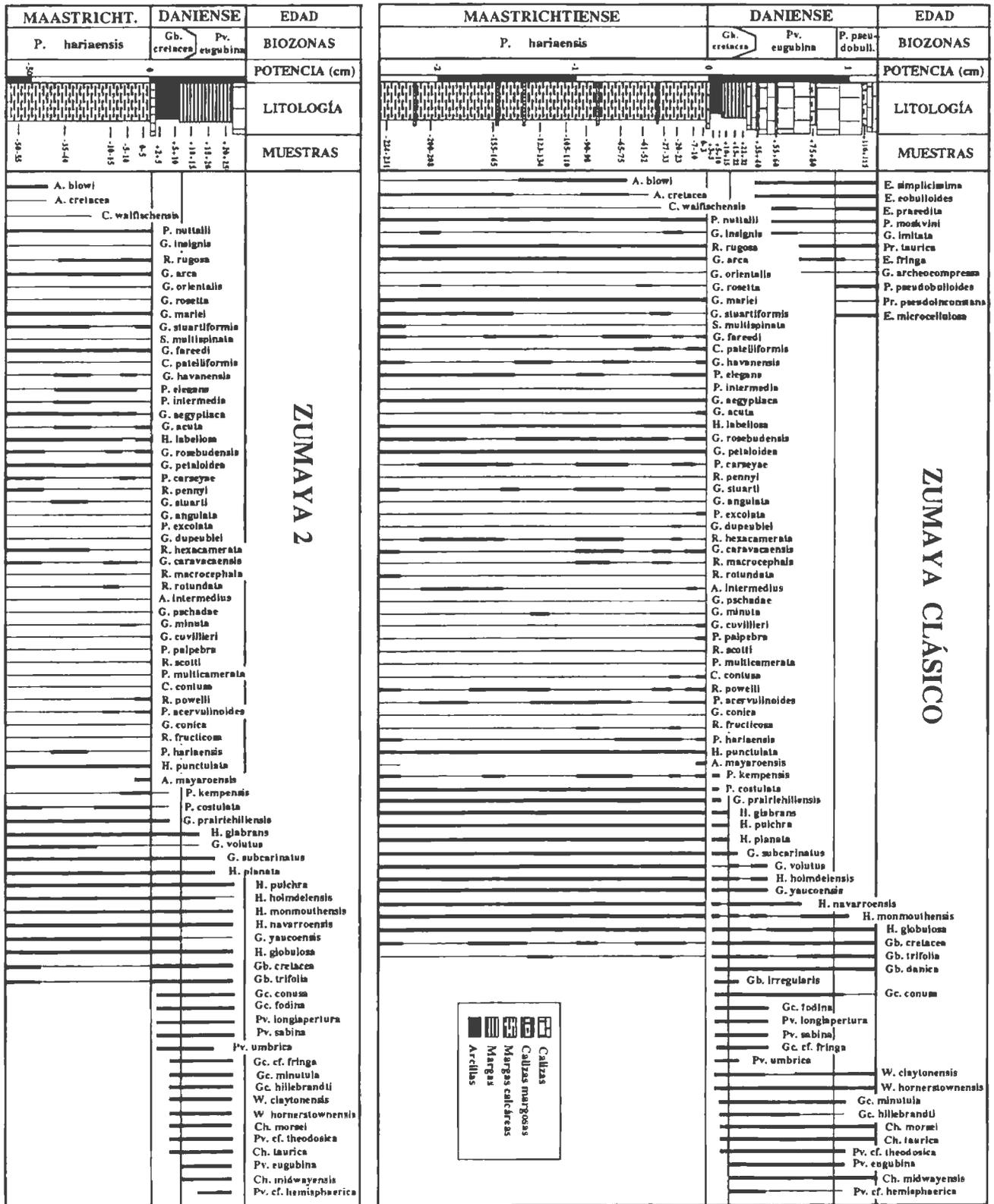


Figura 3.- Distribución estratigráfica de los foraminíferos planctónicos del tránsito Cretácico-Terciario en el perfil clásico de Zumaya y en Zumaya 2.

mayaroensis, la cual es generalmente utilizada para marcar la última biozona del Maastrichtiense. A. mayaroensis es rara en cortes de medios poco profundos, como los estudiados en el presente trabajo, y frecuentemente desaparece antes del límite K/T (Keller, 1988; Lamolda, 1988, 1990).

La biozonación utilizada para la base del Daniense está basada en la de Molina *et al.* (1996), la cual es una pequeña modificación de las biozonaciones clásicas (Luterbacher y Premoli Silva, 1964; Bolli, 1966; Smit, 1982). Han sido identificadas tres biozonas: Biozona de *Guembelitra cretacea*, Biozona

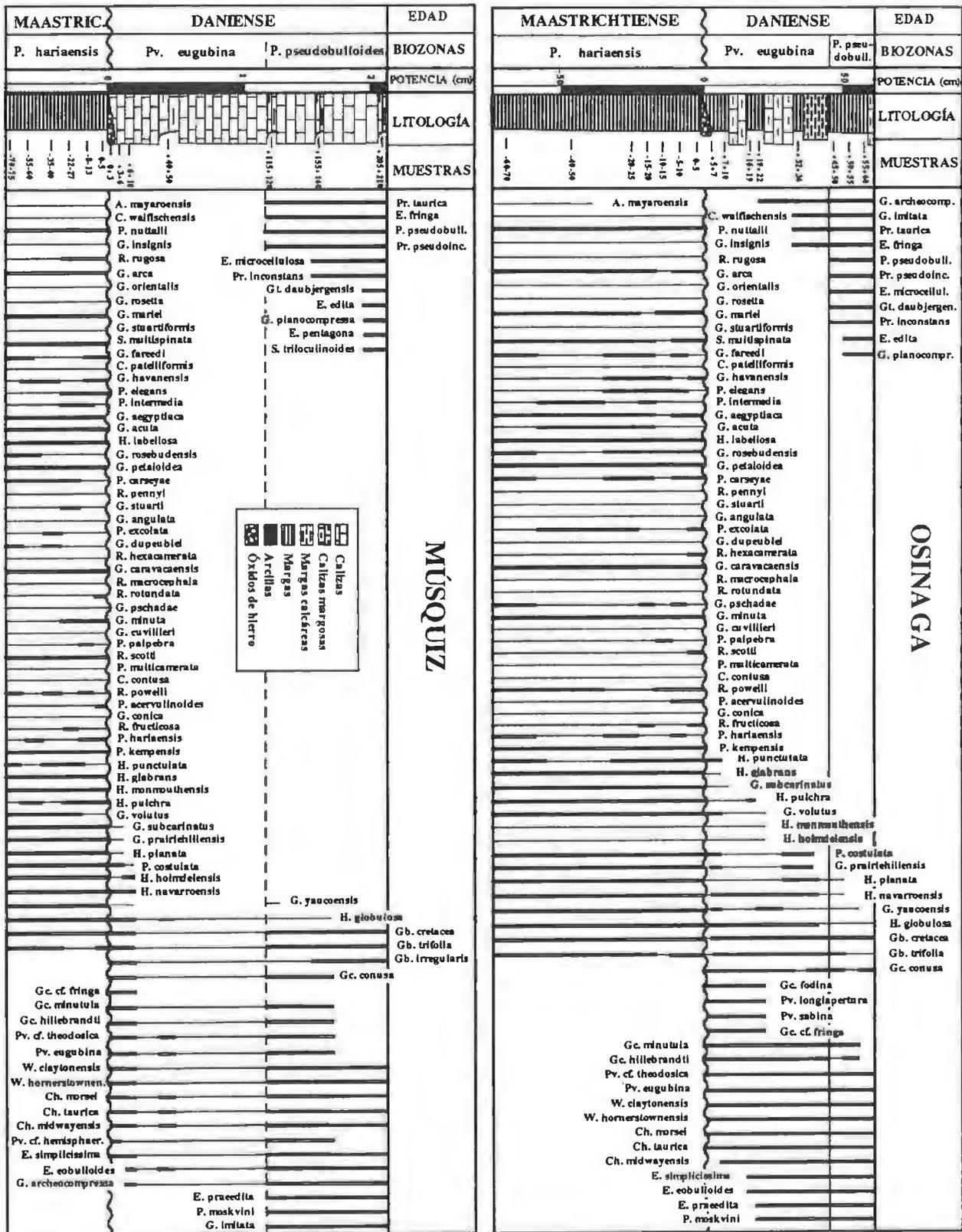


Figura 4.- Distribución estratigráfica de los foraminíferos planctónicos del tránsito Cretácico-Terciario en Osinaga y Músqiz.

de *Parvularugoglobigerina eugubina* y Biozona de *Parasubbotina pseudobuloides* (Fig. 2). La Biozona de *G. cretacea*, cuya base se corresponde con el límite K/T y la extinción de *A. mayaroensis* y *P. hariaensis*, equivale aproximadamente a las Biozonas P0 de Smit (1982), Keller (1988, 1993), Berggren *et al.* (1995) y

Pardo *et al.* (1996). La Biozona de *Pv. eugubina*, cuya base es la P.A. de la especie del mismo nombre, se corresponde aproximadamente con la Biozona Pla de Smit (1982) y Keller (1988, 1993), la Biozona de *Pv. longiapertura* de Canudo *et al.* (1991) y la Biozona P∞ de Berggren *et al.* (1995). El límite inferior de estas

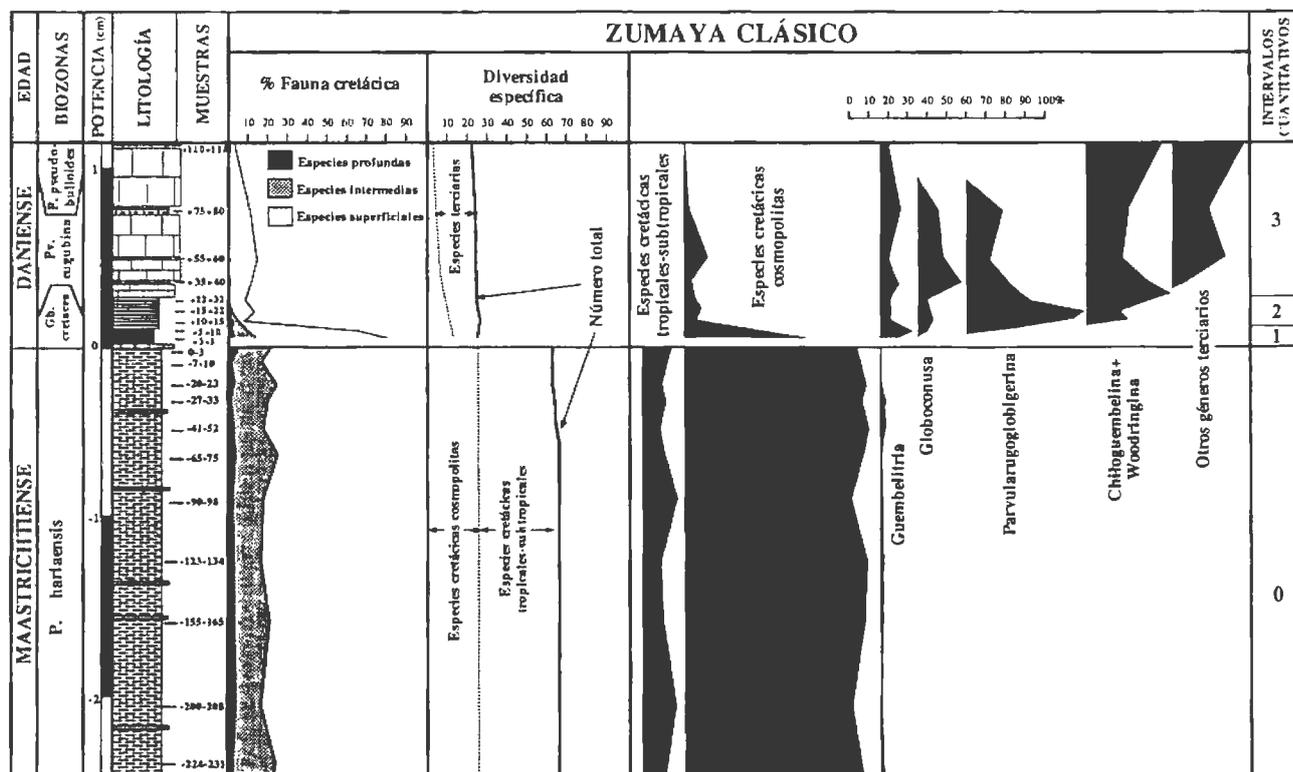


Figura 5.- Distribución cuantitativa de los foraminíferos planctónicos en el perfil clásico de Zumaya e identificación de los intervalos de tipo cuantitativo en el tránsito Cretácico-Terciario.

biozonas está definido con la P.A. de *Pv. longiapertura*, un horizonte que es anterior a la P.A. de *Pv. eugubina*. Por último, la Biozona de *P. pseudobulloides*, cuya base se corresponde a la P.A. de la especie del mismo nombre, se corresponde con la Biozona P1c de Smit (1982), la Biozona P1b de Keller (1988, 1993) y las Biozonas P1a y P1b de Berggren *et al.* (1995). La distribución estratigráfica de las diferentes especies identificadas en los cortes de Zumaya, Osinaga y Músquiz están especificadas en la figuras 3 y 4.

Cambios faunísticos

El estudio de cortes de latitudes templadas y subtropicales (Canudo *et al.*, 1991; Molina *et al.*, 1998) ha permitido establecer varios intervalos de tipo cuantitativo en la base del Paleoceno. Estos intervalos cuantitativos han sido reconocidos en Agost, Caravaca y Aïn Settara (Arenillas, 1996; Molina *et al.*, 1996) y también en los perfiles de Zumaya (Arz *et al.*, en prensa), corroborando su continuidad estratigráfica (Fig. 5). La parte inferior de la Biozona de *G. cretacea* está caracterizada por una fauna típicamente cretácica (100%), pero con una diversidad empobrecida (intervalo 1). La asociación faunística consiste en las pocas especies oportunistas que persistieron al evento del límite K/T.

En el perfil clásico de Zumaya, este intervalo no está registrado en su totalidad debido a una lámina de calcita de 1-2 cm de espesor y un nivel de disolución de 3-5 cm de espesor de origen diagenético. Sin embargo, en el perfil de Zumaya 2, el nivel de disolución es me-

nos importante y es posible identificar este intervalo casi en su totalidad (Arz *et al.*, en prensa). La muestra +2+5 de Zumaya 2, situada en la parte inferior de la Biozona de *Gb. cretacea*, muestra un 90% de abundancia en especies cretácicas. El 10% restante pertenece a 5 especies claramente terciarias. Su aparición simultánea en esta segunda muestra de la base del Paleoceno en Zumaya 2 puede ser consecuencia del insuficiente grado de resolución del muestreo, que impide reconocer la aparición gradual de las mismas. El intervalo 1 ha sido claramente identificado en Agost, Caravaca y Aïn Settara, los cuales han sido considerados internacionalmente como unos de los cortes más continuos estudiados hasta el momento (Molina *et al.*, 1998). En ellos se ha podido realizar un muestreo de mayor resolución debido a la naturaleza margosa del tránsito Cretácico-Terciario (Arenillas, 1996). Por tanto, en los perfiles de Zumaya el intervalo 1 debe estar representado aproximadamente entre los centímetros 1 y 4 por encima del límite K/T.

Los diversos modelos de supervivencia tras un evento de extinción en masa (Kauffman y Erwin, 1995; Kauffman y Harries, 1996a,b; Harries *et al.*, 1996) pueden ser perfectamente aplicados a los foraminíferos planctónicos de la base del Daniense tras al evento del límite K/T (Arenillas, 1996; Molina *et al.*, 1998). Durante la parte inferior de la Biozona de *Gb. cretacea* destaca el incremento en abundancia de las especies de *Guembelitría* y *Hedbergella*. Según la teoría de extinción en masa, estas especies representarían las especies desastre y las oportunistas. Las especies desastre, como *Gb. cretacea*, son especies poco comunes en condicio-

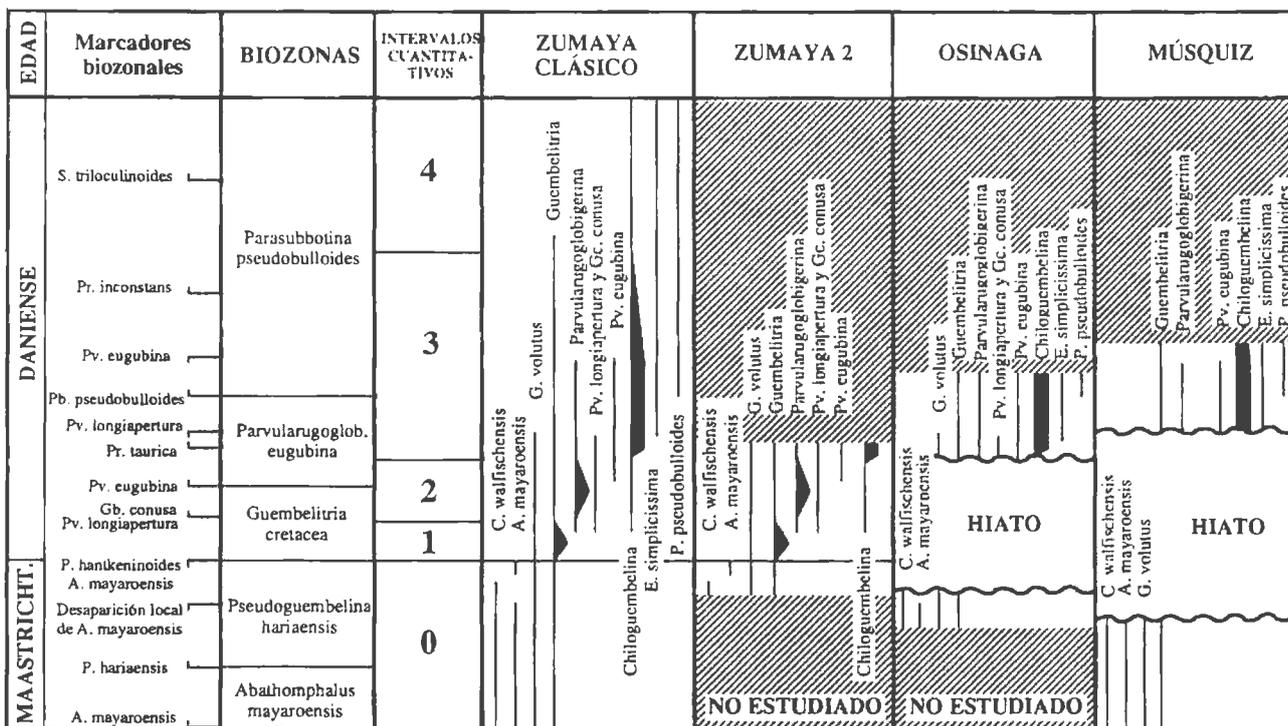


Figura 7.- Control bioestratigráfico y cuantitativo de hiatos mediante la comparación de los cortes de Zumaya (clásico y 2), Osinaga y Músquiz.

nes ambientales normales que experimentan una fuerte expansión en momentos de crisis biológica al estar adaptadas a las condiciones ambientales adversas características de las extinciones en masa. Las especies oportunistas, como *H. holmdelensis*, son especies de estrategia-r ampliamente adaptadas que producen una descendencia numerosa para asegurar la supervivencia y proliferan en hábitats adversos si encuentran poca competencia biológica. Estas especies pueden experimentar incrementos bruscos en eventos de cambios medioambientales, los cuales pueden implicar o no una crisis biológica (Kauffman y Harries, 1996a,b). Por otro lado, *Guembelitra* y *Hedbergella* constituyen el grupo ancestral de la primera radiación evolutiva que acontece en la base del Daniense (Luterbacher y Premoli Silva, 1964; D'Hondt, 1991; MacLeod, 1993; Olsson y Liu, 1993; Arenillas y Arz, 1996; Arenillas 1996; Molina *et al.*, 1998).

El resto de especies supervivientes pertenecen a los géneros *Heterohelix*, *Pseudoguembelina* y *Globigerinelloides*, cuya abundancia es generalmente igual o inferior a la abundancia de las mismas en el Maastrichtiense. Además adquieren un tamaño inferior, indicando que la mayor parte de estas especies también fueron afectadas por el evento. Este conjunto de especies pueden ser clasificadas como generalistas ecológicas, especies más o menos comunes en condiciones ambientales normales, con amplias tolerancias ambientales y gran resistencia a las diversidades, que sobreviven en épocas de crisis biológica, experimentando escasos cambios cuantitativos (Kauffman y Harries, 1996a,b). No obstante, todas las especies supervivientes al evento del límite K/T se extinguen gradualmente

en la base del Daniense y son partícipes del patrón de extinción gradual del tránsito Cretácico-Terciario que se superpone al más evidente patrón de extinción catastrófica del límite K/T. La abundancia relativa de estas especies sufre un repentino descenso en los primeros centímetros del Daniense y su extinción gradual está probablemente condicionada por la aparición y rápida evolución de las primeras especies del Terciario (Arenillas, 1996; Arenillas y Arz, 1996; Arz *et al.*, en prensa).

La parte superior de la Biozona de *Gb. cretacea* está caracterizada por una menor abundancia de especies cretácicas (5-10%), con un evidente predominio de *Parvularugoglobigerina* (50-65%) y *Globoconusa* (5-10%). Las especies de estos géneros son también cosmopolitas y oportunistas y representan el inicio de una primera radiación evolutiva, por lo que pueden ser considerados como progenitores de crisis (Kauffman y Erwin, 1995), tal como han sido descritas en otros cortes (Molina *et al.*, 1998). La distribución estratigráfica de la mayor parte de ellas es muy corta, distribuyéndose en un intervalo estratigráfico que comprende esencialmente las Biozonas de *Gb. cretacea* y *Pv. eugubina*. Por esta razón, muchas de ellas podrían ser clasificadas como progenitores de crisis fallidos (Kauffman y Harris, 1996a,b; Harries *et al.*, 1996). Este evento está claramente registrado en la muestra +10+15 del perfil clásico de Zumaya y en la muestra +5+10 de Zumaya 2, mostrando que la continuidad estratigráfica de estos cortes puede ser demostrada tanto con estudios bioestratigráficos como cuantitativos. Con un 50% en abundancia en especies cretácicas, la muestra +5+10 de Zumaya clásico representa la parte media de la Biozona

de *Gb. cretacea*, con una asociación faunística transicional entre la parte inferior (intervalo 1) y la parte superior (intervalo 2) de esta biozona (Fig. 6).

La Biozona de *Pv. eugubina* está caracterizada por un progresivo descenso de la abundancia de especies cretácicas (exceptuando *Guembelitra*), las cuales casi nunca exceden el 10% en abundancia en la fracción superior a 63 μm . En esta biozona, se pueden distinguir dos intervalos: un intervalo inferior (que puede incluirse en el intervalo 2 anteriormente comentado) en el que *Parvularugoglobigerina* (50-55%) y *Globoconusa* (5-10%) continúan predominando en las asociaciones faunísticas, y un intervalo superior (intervalo 3) en el que se produce un incremento progresivo de *Chiloguembelina* (30-50%) y *Guembelitra* (5-15%). Estos dos últimos géneros predominan también en la parte inferior de la Biozona de *P. pseudobulloides*, pero son progresivamente reemplazados por nuevos géneros del Daniense: *Praemurica*, *Parasubbotina*, *Eoglobigerina*, *Globanomalina* y *Globastica* (Arenillas, 1996).

Se ha podido constatar la existencia de dos importantes radiaciones evolutivas en la parte inferior del Daniense. La primera radiación se produce en el tránsito de las Biozonas *Gb. cretacea*-*Pv. eugubina* entre guembelítridos, woodringínidos y chiloguembelínidos (D'Hondt, 1991; MacLeod, 1993) y entre globoconúsidos y parvularugoglobigerínidos (Luterbacher y Premoli Silva, 1964; Olsson y Liu, 1993; Arenillas y Arz, 1996; Arenillas 1996; Molina *et al.*, 1998). La segunda radiación se produce en el tránsito de las Biozonas de *Pv. eugubina*-*P. pseudobulloides* entre los géneros de pared reticulada hispida (*Eoglobigerina*, *Parasubbotina* y *Subbotina*), los de pared reticulada no hispida (*Praemurica*), los de pared lisa microperforada (*Globanomalina*) y los de pared lisa pustulosa (*Globastica*), tal como indican Liu y Olsson (1992), Olsson *et al.* (1992) y Arz y Arenillas (1996). Estos géneros predominan en el Daniense inferior, siendo *Chiloguembelina* y *Guembelitra* relegados a una fauna residual. Este último intervalo (intervalo 4) ha sido distinguido en las calizas danienses de Zumaya, pero el índice de ejemplares/sedimento es muy pequeño y ha sido insuficiente para realizar un estudio cuantitativo más preciso (Arz *et al.*, en prensa). No obstante, está ampliamente documentado en otros cortes de bajas latitudes (Keller, 1988; 1989; Canudo *et al.*, 1991; Molina *et al.*, 1996).

La existencia de estos intervalos evolutivos y cuantitativos en la base del Daniense permite establecer una escala estratigráfica complementaria a la bioestratigráfica. Se han identificado, por tanto, un intervalo de tipo cuantitativo en la parte superior del Maastrichtiense y cuatro intervalos en la base del Daniense, que de base a techo son: 0) predominio de *Heterohelix* y presencia de las 62 especies del final del Maastrichtiense pertenecientes a 17 géneros, 1) presencia de las 15 especies cretácicas supervivientes pertenecientes a sólo 5 géneros, con predominio de

Guembelitra, *Heterohelix* y *Hedbergella*, 2) predominio de *Parvularugoglobigerina* y *Globoconusa*, 3) predominio de *Chiloguembelina* y *Woodringina* y, finalmente, 4) predominio de *Eoglobigerina*, *Parasubbotina*, *Subbotina*, *Praemurica* y *Globanomalina*. Estos intervalos son el producto de las radiaciones evolutivas y cambios de tipo paleoecológico que se producen tras el evento catastrófico y la gran extinción del límite K/T, compatible con el paradigma impactista. La identificación parcial o total de estos 4 intervalos cuantitativos y de las Biozonas de *Gb. cretacea*, *Pv. eugubina* y *P. pseudobulloides* permite determinar con mayor precisión la existencia e importancia de los hiatos o la continuidad estratigráfica de los cortes estudiados.

Discusión

El estudio bioestratigráfico y cuantitativo con foraminíferos planctónicos de los dos perfiles de Zumaya (Arz *et al.*, en prensa) y su comparación con otros cortes localizados en España, Túnez, Israel e Italia (Arenillas, 1996; Arz, 1996; Molina *et al.*, 1996, 1998) ha permitido confirmar la continuidad del tránsito Cretácico-Terciario en Zumaya. Un exhaustivo estudio de las diferentes fracciones (mayores de 63, 100, 150 y 250 μm) ha permitido demostrar que más del 70% de las especies desaparecen en el límite K/T. Este hecho indica que el modelo de extinción de foraminíferos planctónicos puede ser interpretado como catastrófico y en coincidencia con el límite K/T.

Tanto en el perfil clásico como en Zumaya 2, se ha constatado la extinción de 44 especies coincidiendo con el límite K/T: *Heterohelix labellosa*, *H. punctulata*, *Pseudotextularia nuttalli*, *P. elegans*, *P. intermedia*, *Gublerina acuta*, *G. cuvillieri*, *Pseudoguembelina palpebra*, *P. excolata*, *P. hariaensis*, *Planoglobulina acervulinoides*, *P. carseyae*, *P. multicamerata*, *Racemiguembelina powelli*, *R. fructicosa*, *Globigerinelloides rosebudensis*, *Globotruncanella caravacaensis*, *G. petaloidea*, *G. pschadae*, *G. minuta*, *G. havanensis*, *Rugoglobigerina rugosa*, *R. hexacamerata*, *R. pennyi*, *R. scotti*, *R. macrocephala*, *R. rotundata*, *Schackoina multispinata*, *Globotruncana arca*, *G. aegyptiaca*, *G. orientalis*, *G. rosetta*, *G. mariei*, *Globotruncanita stuarti*, *G. angulata*, *G. stuartiformis*, *G. insignis*, *G. fareedi*, *G. conica*, *G. dupeublei*, *Contusotruncana contusa*, *C. patelliformis*, *Abathomphalus intermedius* y *A. mayaroensis*.

En Zumaya, el diferente color de los sedimentos de la parte superior del Maastrichtiense (rojo) y de la parte inferior del Daniense (blanco o gris) permiten distinguir con mayor facilidad qué ejemplares son reelaborados (rojos) en la base del Daniense (Arz *et al.*, en prensa). Con este criterio de reelaboración, parece confirmarse la presencia de 15 especies cretácicas aparentemente no reelaboradas en la base del Paleoceno. Las especies que pueden ser consideradas como super-

vivientes al evento del límite K/T por su persistencia en el Daniense son: *Heterohelix planata*, *H. navarroensis*, *H. globulosa*, *H. glabrans*, *H. pulchra*, *Hedbergella monmouthensis*, *H. holmdelensis*, *Globigerinelloides yaucoensis*, *G. subcarinatus*, *G. volutus*, *G. prairiehillensis*, *Pseudoguembelina costulata*, *P. kempensis*, *Guembelitria cretacea* y *Gb. trifolia*. Su presencia en el Daniense ha sido mostrada en otros cortes: Agost y Caravaca (Canudo *et al.*, 1991; Molina *et al.*, 1996, 1998; Arz, 1996; Arenillas, 1996), Añ Settara (Dupuis *et al.*, en prensa), Ben Gurion (Arenillas, 1996) y Ceselli 3, que es la muestra-tipo de la Biozona de *Globigerina eugubina*.

En la cuenca pirenaica de Navarra se ha identificado un hiato de pequeña extensión utilizando los criterios de tipo bioestratigráfico y cuantitativo anteriormente expuestos (Canudo y Molina, 1992; Arenillas *et al.*, 1997). Este hiato afecta al techo de la Biozona de *P. hariaensis*, a la Biozona de *Gb. cretacea* y a la base de la Biozona de *Pv. eugubina*. En Osinaga, solamente *A. mayaroensis* desaparece antes del límite K/T. La desaparición previa de esta especie se produce también en Zumaya, pero se ha demostrado que está ausente en los dos últimos metros del Maastrichtiense de Zumaya (Lamolda, 1983, 1988; Lamolda *et al.*, 1983; Arz, 1996), reapareciendo en los últimos centímetros antes del límite K/T (Arz, 1996; Arz *et al.*, en prensa). En Músquiz, esta especie desaparece aparentemente en coincidencia con el límite K/T, indicando que el hiato es más expandido que en Osinaga. Este hiato es evidente cuando comparamos los cortes navarros y los perfiles de Zumaya, los cuales son más continuos (Figs. 6 y 7).

Se pueden observar diferencias en la distribución de las especies de los cortes de Zumaya y Osinaga (Arz, 1996; Arenillas *et al.*, 1997; Arz *et al.*, en prensa). De las 44 especies que se extinguen en el límite K/T de Zumaya, una de ellas, *A. intermedius*, no ha sido identificada en Osinaga. Por otro lado, el hiato existente en el límite K/T de Osinaga provoca que *C. walfischensis* y *P. kempensis* desaparezcan aparentemente en el límite K/T de Osinaga, mientras que en Zumaya desaparecen respectivamente antes y después del límite K/T. Además, *H. punctulata* ha sido identificada en la base del Paleoceno de Osinaga (Arenillas *et al.*, 1997) y no en Zumaya y en otros cortes de latitudes más bajas (Molina *et al.*, 1998). Debido a todas estas razones, en Osinaga desaparecen 43 especies en el límite K/T: *Heterohelix labellosa*, *Pseudotextularia nuttalli*, *P. elegans*, *P. intermedia*, *Gublerina acuta*, *G. cuvillieri*, *Pseudoguembelina kempensis*, *P. palpebra*, *P. excolata*, *P. hariaensis*, *Planoglobulina acervulinoides*, *P. carseyae*, *P. multicamerata*, *Racemiguembelina powelli*, *R. fructicosa*, *Globigerinelloides rosebudensis*, *Globotruncanella caravacaensis*, *G. havanensis*, *G. petaloidea*, *G. pschadae*, *G. minuta*, *Rugoglobigerina rugosa*, *R. hexacamerata*, *R. pennyi*, *R. scotti*, *R. macrocephala*, *R. rotundata*, *Schackoia multispinata*, *Globotruncana arca*, *G. aegyptiaca*, *G. orientalis*, *G. rosetta*, *G. mariei*, *Globotruncanita*

stuarti, *G. angulata*, *G. stuartiformis*, *G. insignis*, *G. fareedi*, *G. conica*, *G. dupeublei*, *Contusotruncana contusa*, *C. patelliformis* y *C. walfischensis*. A este conjunto de especies podría añadirse *H. punctulata*, ya que solamente ha sido identificada en Osinaga en la base del Paleoceno y podría tratarse de un ejemplar reelaborado.

H. planata, *H. navarroensis*, *H. globulosa*, *G. yaucoensis*, *Gb. cretacea* y *Gb. trifolia* son las únicas especies cretácicas supervivientes al evento del límite K/T identificadas en la base del Daniense del corte de Músquiz (Fig. 4). Este hecho es una consecuencia de la mayor expansión del hiato en Músquiz (Arenillas *et al.*, 1997), provocando la desaparición aparente de *H. glabrans*, *H. monmouthensis*, *H. pulchra* y *G. volutus* en el límite K/T. Estas especies han sido identificadas en la Biozona de *Pv. eugubina* de Zumaya y Osinaga y es común su presencia en la base del Daniense de otros cortes (Keller, 1988, 1989; Canudo *et al.*, 1991; Keller *et al.*, 1993, 1995; Molina *et al.*, 1996, 1998; Arenillas *et al.*, 1997; Arz *et al.*, en prensa).

El análisis cuantitativo comparado de Zumaya y Osinaga permite justificar y cuantificar la expansión del hiato en el corte navarro (Fig. 6). Los dos primeros intervalos cuantitativos, que han sido identificados en Zumaya y en otros cortes de latitudes subtropicales, no han sido identificados en Osinaga. Estos intervalos incluyen la Biozona de *Gb. cretacea* y la parte inferior de la Biozona de *Pv. eugubina*. Además, el hiato que afecta al límite K/T de Osinaga y Músquiz provoca que la aparición de un gran número de especies del Daniense coincidan con el límite K/T (Arenillas *et al.*, 1997). Así, por ejemplo, la P.A. de *Parvularugoglobigerina* (*Pv. longiapertura*, *Pv. sabina*, *Pv. cf. theodosica*, *Pv. cf. hemishaerica*, *Pv. eugubina*), *Globoconusa* (*Gc. conusa*, *Gc. cf. fringa*, *Gc. fodina*), *Woodringina* (*W. claytonensis*, *W. hornerstownensis*) y *Chiloguembelina* (*Ch. morsei*, *Ch. taurica*) coincide aparentemente con el límite K/T de Osinaga. Atendiendo a la distribución estratigráfica de todas estas especies en Zumaya y otros cortes (Arenillas, 1996; Arz, 1996), podemos afirmar que en el corte de Osinaga no han sido registrados materiales correspondientes la Biozona de *Gb. cretacea* y el primer tercio de la Biozona de *Pv. eugubina*.

La naturaleza calcárea del Daniense inferior en Músquiz dificulta el estudio cuantitativo de las asociaciones faunísticas, pero se ha podido comprobar que la primera muestra del Daniense de este corte pertenece ya al intervalo 3, con una alta proporción de *Chiloguembelina* y *Woodringina* (Fig. 7). No obstante, el estudio bioestratigráfico comparado indica que el hiato es de mayor extensión en Músquiz que en Osinaga. Así, por ejemplo, *Pv. longiapertura*, *Pv. sabina* y *Gc. fodina* no han sido identificadas en Músquiz, indicando que la primera mitad de la Biozona de *Pv. eugubina* falta en este corte. Además, la presencia de *Eoglobigerina simplicissima*, *E. eobulloides* y *G. archeocompressa* en las primeras muestras del Daniense de Músquiz confirma esta hipótesis. De he-

cho, la P.A. de *E. simplicissima* ocurre aparentemente en coincidencia con el límite K/T.

Conclusiones

El estudio bioestratigráfico y cuantitativo con foraminíferos planctónicos permite identificar y cuantificar los hiatos que afectan al tránsito Cretácico-Terciario. De esta forma, se ha podido comprobar que los perfiles de Zumaya, el clásico y Zumaya 2, son continuos en todo el intervalo, mientras que los perfiles navarros, Osinaga y Músquiz, presentan un hiato que afecta al techo de la Biozona de *P. harianensis*, a la Biozona de *G. cretacea* y la parte inferior de la Biozona de *Pv. eugubina*.

El estudio de los perfiles de Zumaya en comparación con otros cortes continuos de latitudes más bajas ha permitido identificar 5 intervalos de tipo cuantitativo: 0) predominio de *Heterohelix* y presencia de las 62 especies del final del Maastrichtiense pertenecientes a 17 géneros, 1) presencia de las 15 especies cretácicas supervivientes pertenecientes a sólo 5 géneros, con predominio de *Guembelitra*, *Heterohelix* y *Hedbergella*, 2) predominio de *Parvularugoglobigerina* y *Globoconusa*, 3) predominio de *Chiloguembelina* y *Woodringina* y, finalmente, 4) predominio de *Eoglobigerina*, *Parasubbotina*, *Subbotina*, *Praemurica* y *Globanomalina*. Estos intervalos cuantitativos ayudan a controlar la existencia de hiatos en el límite K/T, constituyendo una nueva escala que es complementaria a la bioestratigráfica.

I.A. disfruta de una beca postdoctoral FPI del Ministerio de Educación y Cultura (nº ref. EX96 0016020964). Este trabajo se ha realizado dentro del proyecto DGICYT PS94-0566 y del proyecto del Gobierno de Navarra OF/478/92.

Bibliografía

- Alvarez, L.W., Alvarez, W., Asaro, F. y Michel, H.V. (1980): Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, 208: 1095-1108.
- Apellaniz, E., Baceta, J.I., Bernaola-Bilbao, G., Núñez-Betelu, K., Orue-Etxebarria, X., Payros, A., Pujalte, V., Robin, E. y Rochia, R. (1997): Analysis of uppermost Cretaceous-lowermost Tertiary hemipelagic successions in the Basque Country (western Pyrenees): evidence for a sudden extinction of more than half planktic foraminifer species at the K/T boundary. *Bull. Soc. géol. France*, 168: 783-793.
- Arenillas, I. (1996): *Los foraminíferos planctónicos del Paleoceno-Eoceno inferior: Sistemática, Biostratigrafía, Cronoestratigrafía y Paleoceanografía*. Tesis Doctoral, Univ. Zaragoza, 513 p. (inédita).
- 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. *Act. XII Bienal Real Soc. de Esp. Hist. Nat.*, 267-271.
- Arenillas, I., Arz, J.A. y Molina, E. (1997): El límite Cretácico/Terciario con foraminíferos planctónicos en Osinaga y Músquiz (Navarra, Pirineos). *Geogaceta*, 21: 25-28.
- Arz, J.A. (1996): *Los foraminíferos planctónicos del Campaniense y Maastrichtiense: Biostratigrafía, Cronoestratigrafía y eventos paleoecológicos*. Tesis Doctoral, Univ. Zaragoza, 419 p. (inédita).
- Arz, J.A. y Arenillas, I. (1996): Discusión de los modelos de extinción para los foraminíferos planctónicos del límite Cretácico/Terciario en el corte de Agost (Béticas). *Act. XII Bienal Real Soc. Esp. Hist. Nat.*, 281-285.
- Arz, J.A., Arenillas, I. y Molina, E. (en prensa): Tafonomía y extinción de foraminíferos planctónicos en el límite Cretácico/Terciario de Zumaya (Guipúzcoa): ¿supervivencia o reelaboración?. *Rev. Esp. Micropaleontol.*
- 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* (W.A. Berggren et al. eds.), *Soc. Econ. Geol. Paleont., Spec. Pub.*, 1-392.
- Bolli, H.M. (1966): Zonation of Cretaceous to Pliocene marine sediments based on Planktonic foraminifera. *Bol. Inf. Asoc. Venezolana Geol. Min. Petrol.*, 9: 1-34.
- Canudo, J.I., Keller, G. y Molina, E. (1991): Cretaceous/Tertiary boundary extinction pattern and faunal turnover at Agost and Caravaca, SE Spain. *Mar. Micropal.*, 17: 319-341.
- Canudo, J.I. y Molina, E. (1992): Bioestratigrafía y evolución de los foraminíferos planctónicos del límite Cretácico/Terciario en Osinaga (Pirineo de Navarra). *Simp. III Cong. Geol. Esp.*, 2: 54-62.
- D'Hondt, S.L. (1991). Phylogenetic and stratigraphic analysis of earliest Paleocene biserial and triserial planktonic foraminifera. *Jour. Foram. Res.*, 21(2): 168-181.
- Dupuis, C., Steurbaut, E., Molina, E., Rauscher, R., Tribouillard, N.P., Arenillas, I., Arz, J.A., Robaszynski, F., Caron, Robin, E., Rochia, R., Lefevre, I., M. Schuler, M. y Larque, P. (en prensa): Biotic evolution and events across the Cretaceous-Tertiary (K/T) boundary in the AinSettara section (Kalaat-Senan area, Central Tunisia). *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*
- Harries, P.J., Kauffman, E.G. y Hansen, T.A. (1996): Models for biotic survival following mass extinction. En: *Biotic Recovery from Mass Extinction Events* (M.B. Hart, ed.). *Geol. Soc. Sp. Publ. London*, 102: 41-60.
- Kauffman, E.G. y Erwin, D.H. (1995): Surviving mass extinctions. *Geotimes*, 40(3): 14-17.
- Kauffman, E.G. y Harries, P.J. (1996a): The importance of crisis progenitors in recovery from mass extinction. En: *Biotic Recovery from Mass Extinction Events* (M.B. Hart, ed.), *Geol. Soc. Sp. Publ. London*, 102: 15-39.
- Kauffman, E.G. y Harries, P.J. (1996b): Las consecuencias de la extinción en masa. Predicciones para la supervivencia y regeneración en ecosistemas antiguos y modernos. En: *La lógica de la extinciones* (J. Agustí et al., eds.), *Metatemas*, 42: 17-64.
- Keller, G. (1988): Extinction, survivorship and evolution of Planktic Foraminifera across the Cretaceous/Tertiary boundary at El Kef, Tunisia. *Mar. Micropal.*, 13: 239-263.
- Keller, G. (1989): Extended period of extinctions across the Cretaceous/Tertiary boundary in planktonic foraminifera of continental-shelf sections: Implications for impact and volcanism theories. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 101: 1408-1419.
- Keller, G. (1993): The Cretaceous-Tertiary boundary transition in the Antarctic Ocean and its global implications. *Micropaleontol.*, 21: 1-45.
- Keller, G. (1996): The Cretaceous-Tertiary mass extinction in planktonic foraminifera: Biotic constraints for catastrophe

- theories. En: Biotic and environmental events across the Cretaceous/Tertiary boundary (N. MacLeod y G. Keller, eds.), *Norton Press, New York*, 49-84.
- Keller, G., Barrera, E., Schmitz, B. y 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. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 105: 979-977.
- Keller, G., Li, L., 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. (1983): Biostratigraphie du Maastrichtien basco-cantabrique; ses foraminifères planctoniques. *Géol. Méditerran.* 10(3-4): 121-126.
- Lamolda, M.A. (1988): The Micropaleontology of the Zumaya Section. Field-Guide Excursion to the Cretaceous-Tertiary boundary section at Zumaya (northern Spain). *Rev. Esp. Paleont.*, N° Extr.: 152-155.
- 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.*, 30: 393-399.
- Lamolda, M.A., Orue-Etxebarria, X. y Proto-Decima, F. (1983): The Cretaceous-Tertiary boundary in Sopelana (Biscay, Basque Country). *Zitteliana*, 10: 663-670.
- Liu, C. y Olsson, R.K. (1992): Evolutionary radiation of microperforate planktonic foraminifera the K/T mass extinction event. *Jour. Foram. Res.*, 22(4): 328-346.
- Luterbacher, H.P. y Premoli Silva, I. (1964): Biostratigrafia del limite Cretaceo-Terziario nell'Apennino Centrale. *Rev. Ital. Paleont. 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. (1996): Nature of the Cretaceous-Tertiary planktonic record: Stratigraphic confidence intervals, Signor-Lipps effect and patterns of survivorship. En: Biotic and environmental events across the Cretaceous/Tertiary boundary (N. MacLeod y G. Keller, eds.), *Norton Press, 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. Am. Bull.*, 103: 1439-1457.
- Molina, E. (1994): Aspectos epistemológicos y causas de la extinción. *Cuad. Interdisc.*, 5: 11-30.
- Molina, E. (1995): Modelos y causas de extinción masiva. *Interciencia*, 20(2): 83-89.
- Molina, E., Arenillas, I. y Arz, J.A. (1996): The Cretaceous/Tertiary boundary mass extinction in planktic foraminifera at Agost (Spain). *Revue Micropal.*, 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.
- Nederbragt, A.J. (1991): Late Cretaceous biostratigraphy and development of Heterohelicidae (planktic foraminifera). *Micropaleontol.*, 37(4): 329-372.
- Olsson, R.K. y Liu, G. (1993). Controversies on the placement of the Cretaceous-Tertiary events and K/T mass extinction of planktonic foraminifera. *Palaio*, 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.
- Pardo, A., Ortiz, N. y Keller, G. (1996): Latest Maastrichtian and K/T boundary foraminiferal turnover and environmental changes at Agost, Spain. En: Biotic and environmental events across the Cretaceous/Tertiary boundary (N. MacLeod y G. Keller, eds.), *Norton Press, 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.*, 216-220.
- Smit, J. (1982): Extinction and evolution of planktonic foraminifera after a major impact at the Cretaceous/Tertiary boundary. *Geol. Soc. Am. Spec. Paper*, 190: 329-352.
- Smit, J. (1990): Meteorite impact, extinctions and the Cretaceous-Tertiary boundary. *Geol. Mijnb.*, 69: 187-204.

Manuscrito recibido el 20 de Mayo de 1997

Aceptado el manuscrito revisado el 10 de Mayo de 1998