

Extinción y evolución de foraminíferos planctónicos en el tránsito Cretácico-Terciario de Tunicia

I. Arenillas¹, J.A. Arz² y E. Molina¹

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

²Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, MEX-67700 Linares, N.L., México

Introducción

Los cortes marinos más expandidos del tránsito Cretácico-Terciario (K-T) del Tetis se encuentran en Tunicia (Fig. 1), destacando entre ellos los tres cortes estudiados: El Kef, Elles y Ain Settara. El corte de El Kef fue oficialmente designado como estratotipo del límite Cretácico/Terciario (K/T) en 1989 en el 28th International Geological Congress en Washington. Es posiblemente el corte más expandido y completo del tránsito K-T del Tetis conocido hasta la fecha, sólo comparable a los otros cortes tunecinos de Ain Settara y Elles. En Tunicia, el límite K/T se reconoce por un estrato arcilloso de color gris oscuro ("arcilla del límite K/T") casi desprovisto de foraminíferos planctónicos y carbonatos. En la base de esta arcilla existe un nivel de color rojo-amarillento caracterizado por diversas evidencias de impacto meteorítico (anomalía de Ir, espinelas de Ni, microtectitas, etc.), así como un brusco descenso del %CaCO₃ y el $\delta^{13}\text{C}$ (Smit, 1982; Robin *et al.*, 1991; Dupuis *et al.*, en prensa).

El límite K/T fue definido en la base de este nivel arcilloso y coincide con la mayor extinción en masa de foraminíferos planctónicos de toda la historia geológica. Sin embargo, estudiando cortes tunecinos (El Kef) y españoles (Agost y Caravaca), se han propuesto dos patrones de extinción diferentes que sirven para apoyar diferentes hipótesis sobre las causas de la extinción. La primera hipótesis sugiere que el patrón de extinción es catastrófico, extinguiéndose la mayor parte de las especies en coincidencia con el límite K/T (Smit, 1982, 1990). Esta extinción catastrófica es muy compatible con la hipótesis del impacto de un asteroide propuesta por Alvarez *et al.* (1980). La segunda hipótesis propone que el patrón de extinción es gradual, comenzando en el Maastrichtiense terminal y finalizando en el Daniense basal (Keller, 1988; Keller *et al.*, 1995). Este patrón de extinción sería más compatible con la hipótesis de las causas múltiples, que combina el vulcanismo, cambios eustáticos y paleoceanográficos y, quizás, el impacto de un meteorito (Canudo *et al.*, 1991).

El problema consiste en determinar cuál es el patrón de extinción real de los foraminíferos planctónicos en el tránsito K-T. El objetivo de este trabajo es discutir este problema integrando los resultados de tres mejores cortes tunecinos (El Kef, Ain Settara y Elles). En este trabajo se realiza un estudio bioestratigráfico y cuantitativo, sintetizando los eventos identificados en los tres cortes, con la finalidad de analizar la extinción en masa de los foraminíferos planctónicos y los eventos evolutivos que acontecen justo después del límite K/T.

Patrones de extinción y evolución

El estudio bioestratigráfico y cuantitativo del tránsito Cretácico-Terciario en los diferentes cortes de Tunicia indica que el patrón principal de extinción de los foraminíferos planctónicos es catastrófico (Molina *et al.*, 1998; Arz *et al.*, 1999; Arenillas *et al.*, en prensa). Teniendo en cuenta tan sólo la parte superior de la Biozona de *Plummerita hantkeninoides* (Maastrichtiense terminal), el porcentaje de especies cretácicas que se extinguen es superior al 97 %. Este evento representa la extinción en masa de foraminíferos planctónicos más importante de toda su historia. Pero lo más importante de este evento es el hecho de que el 68.6% de las especies se extinguen en coincidencia con el límite K/T. En la Figura 2 se muestra una síntesis de la distribución bioestratigráfica de las especies identificadas en Tunicia y el porcentaje de extinción antes, justo y después del límite K/T. También se muestra la biozonación utilizada, que está basada en la de Molina *et al.* (1996).

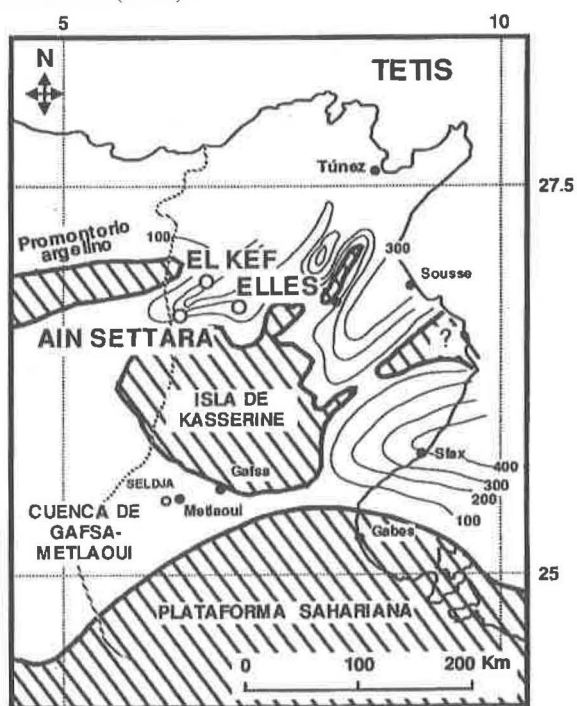


Figura 1. Situación paleogeográfica de los cortes de El Kef, Ain Settara y Elles.

Las especies que se extinguen en el límite K/T son generalmente grandes, de morfología compleja y típicas de aguas tropicales y subtropicales. Estas especies pertenecen a los géneros más característicos del Maastrichtiense Superior: *Globotruncana*, *Globotruncanella*, *Abathomphalus*, *Contusotruncana*, *Rugoglobigerina*, *Racemina*.

EDAD	BIOZONA- CIÓN	CORTES ESTUDIADOS (Potencia en metros)			EVENTOS		
		El Kef	Añn Settara	Elles			
DANIENSE	P1b P. pseudobulloides	No estudiado	20,00	No estudiado	↑ Eoglobigerina, Subbotina, Parasubbotina, Praemurica y Globanomalina	↑CO ₃ Ca ↑δ ¹³ C ↑ P/B	
		>7,00		> 1,00	↑ Chiloguembelina y Woodringina		
	P1a Pv. eugubina	5,25	4,50	Hiato			Radiación evolutiva de especies con pared reticulada
		P0 G. cretacea	1,50	0,45	3,25		↑ Parvularugoglobigerina y Globoconusa ↓↓ Especies cretácicas
	P0 G. cretacea		0,50	0,15	0,50		↑ Guembeltina ↓↓ Especies cretácicas
↓↓ δ ¹³ C y CO ₃ Ca ↑↑ Ir ↑Ni Microtectitas Cuarzo impacto							
MAASTRICHTIENSE	A. mayaroensis P. hantkeninoides	>12,00	20,00	> 1,00	Extinción del 70% de las especies de f.p. del Maastrichtiense superior	↑CO ₃ Ca ↑δ ¹³ C ↑ P/B	
		No estudiado	45,40	No estudiado	↑↑ Dominio de Heterohelix ↑ Globotruncana, Contusotruncana, Globotruncanita, Racemiguembelina y Planoglobulina		

Figura 3. Potencia de las biozonas de foraminíferos planctónicos en los tres cortes estudiados y eventos sedimentológicos, isotópicos y micropaleontológicos más relevantes durante el tránsito Cretácico-Terciario de Tunicia.

guembelina, Planoglobulina y Pseudotextularia. La asociación de foraminíferos planctónicos del Maastrichtiense terminal era la más diversificada de toda su historia y, por tanto, hemos de suponer que los foraminíferos planctónicos se encontraban en plena expansión. Su extinción coincide con la base del nivel rojo con evidencias de impacto (Fig. 3).

Sólo un 4,4% de las especies finicretácicas parecen extinguirse justo por debajo del límite. La desaparición de estas especies puede ser simplemente el resultado de un proceso normal de extinción de fondo y, por tanto, puede no estar relacionada directamente con el evento del

límite. Además, son especies muy raras y pueden haber pasado desapercibidas en las últimas muestras del Cretácico debido al efecto Signor-Lipps (Signor y Lipps, 1982). Es posible que el efecto Signor-Lipps no se pueda eliminar por completo, pero sí minimizar con un estudio intensivo de todas las muestras, especialmente de la última muestra del Cretácico.

El resto de especies finicretácicas (28,6%) parece persistir en la parte basal del Daniense (Fig. 2). Estas son generalmente pequeñas, cosmopolitas y de morfología más simple, y pertenecen a géneros que fueron dominantes en el Maastrichtiense Superior: *Heterohelix*, *Hedber-*

MAASTRICHTIENSE		DANIENSE		EDAD
P. hantkeninoides	Gb. cretacea	Pv. eugubina	P. pseudobulloides	BIOZONACIÓN
C. plicata	A. cretacea G. acuta R. pennyl A. mayaroensis Paz. hartensis P. hantkeninoides H. punctulata P. elegans P. nuttalli Ptx. intermedia P. palpebra P. costellifera P. excolata G. cuvieri P. acervulinoides P. carseyae P. multicamerata P. manuelensis R. fructicosa R. powelli G. rosebudensis G. multispinia G. havanensis G. petaloidea G. oachadae A. blowi R. rugosa R. hexacamerata R. rotundata R. macrocephala R. reicheli R. scotti S. multispinata G. arca G. aegyptiaca G. rosetta G. marlei G. stuarti G. stuartiformis G. insignis G. dupleubei G. fareedii G. conica G. angulata G. falsocalcarata C. contusa C. patelliformis C. walfischensis H. glabrans H. labellosa P. kamponella G. subcarinatus G. caravacaensis G. minuta F. costulata H. pulchra G. volutus G. praelibellus H. monmouthensis H. holmdelensis G. yaucoensis H. planata H. navarroensis H. globulosa		3 (4.4%) especies desparecidas antes del límite K/T	DISTRIBUCIÓN BIOESTRATIGRAFICA DE LAS ESPECIES DE FORAMINIFEROS PLANTONICOS EN EL TRANSITO CRETACICO-TERCIARIO EN TUNICIA
			46 (88.6%) especies cretácicas extintas en el límite K/T	18 (26.8%) especies cretácicas posiblemente supervivientes
				Gb. cretacea Gb. trifolia Gb. alabamensis
				W. claytonensis
				W. hornerstownensis
				Ch. morsel Ch. taurica Ch. midwayensis E. simplicissima E. eobulldoes Gl. archeoconpressa P. moskovi E. praedita G. imitata Pr. taurica Pr. pseudoinconstans E. microcellulosa E. fringa P. pseudobulloides E. trivialis G. planocompressa E. edita P. varianta Pr. inconstans S. triloculnoides St. daubjergensis
				Radiación evolutiva de especies con pared reducida (Eogubigerina, Parasubotina, Subbotina y Praenurica), pared lisa (Globorotalina) y pustulosas (Globastrea)
				Radiación evolutiva de pequeños especies de los géneros: Parvalanaglobigerrina, Globocornusa, Guembelitria, Woodringina, Chloguembelina

Figura 2. Distribución bioestratigráfica de las especies de foraminíferos planctónicos en el tránsito Cretácico-Terciario en Tunicia.

gella, *Pseudoguembelina* y *Globigerinelloides*. Su abundancia conjunta en el Maastrichtiense terminal es superior al 80%. Pueden considerarse especies generalistas ecológicas, ya que fueron comunes en las condiciones ambientales "normales" del final del Cretácico, con amplias tolerancias ambientales. Estas especies eran comunes, por ejemplo, en latitudes altas y en medios someros durante el Cretácico (Keller *et al.*, 1993). Apparentemente sobrevivieron a la crisis biológica, experimentando escasos cambios cuantitativos, al menos en abundancia relativa. No obstante, su abundancia absoluta (Smit y Nederbragt, 1997) y el tamaño de sus conchas sufrieron una reducción muy importante (Arenillas *et al.*, en prensa).

La supervivencia de estas especies es, además, una hipótesis todavía muy controvertida, debido a que muchos especialistas las han considerado como reelaboradas. No obstante, su presencia en la parte basal del Daniense es muy común y sus ejemplares no aparentan tener una conservación muy diferente de las especies terciarias. El problema fundamental es que en la mayoría de las ocasiones no hay un criterio visual sencillo para identificar si son acumulados, resedimentados o reelaborados. Algunas de estas especies cretácicas presentan señal isotópica ($\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$) terciaria (Barrera y Keller, 1990); éste es, hasta el momento, el argumento más fuerte a favor de la hipótesis de su supervivencia. No obstante, el análisis isotópico tampoco puede considerarse como una prueba contundente ya que presenta problemas de tipo diagenético y ontogenético (Smit y Nederbragt, 1997). Además, existen otros estudios isotópicos que indican una reelaboración generalizada de especies cretácicas en la parte basal del Daniense (MacLeod y Huber, 1996; Kaiho y Lamolda, 1999).

Las únicas especies ciertamente supervivientes fueron *Guembelitra cretacea* y *Guembelitra trifolia*. Esta afirmación se basa en que su abundancia parece incrementarse en la parte inferior del Daniense (Fig. 3) y en que son el ancestro de *Globoconusa?* y *Woodringina*. Las especies de *Guembelitra* fueron especies oportunistas tipo desastre que se expandieron rápidamente después del límite K/T, siguiendo una estrategia-r. Las demás especies deben ser consideradas como posibles supervivientes, ya que podrían estar reelaboradas. Su controvertida extinción en la parte inferior del Daniense podría estar relacionada con los efectos paleoambientales secundarios del impacto del asteroide o, quizás, con la competencia biológica entre las especies cretácicas supervivientes y las primeras especies terciarias.

Justo después del límite K/T, se puede reconocer una gran radiación evolutiva de foraminíferos planctónicos (Fig. 2). En primer lugar aparecen especies pequeñas y oportunistas de los géneros *Parvularugoglobigerina*, *Globoconusa?*, *Woodringina* y *Chiloguembelina*, las cuales proliferaron en la parte superior de la Biozona de *G. cretacea* y en la Biozona de *Pv. eugubina*. El género *Guembelitra* puede ser, con casi toda seguridad, el ancestro directo de *Globoconusa?* y *Woodringina*. Por

otro lado, *Globoconusa?* o *Hedbergella* pueden ser los ancestros probables de *Parvularugoglobigerina*, y *Woodringina* el ancestro probable de *Chiloguembelina* (Arenillas y Arz, 1996; Olsson *et al.*, 1999). En este intervalo, el $\%\text{CaCO}_3$ y el $\delta^{13}\text{C}$ comenzaron a aumentar, aunque sus valores todavía son más bajos que en el Maastrichtiense (Fig. 3). Posteriormente, en el tránsito entre las Biozonas de *Pv. eugubina* y *P. pseudobulloides*, aparecieron nuevas especies paleocenas de mayor tamaño con pared reticulada: *Eoglobigerina*, *Subbotina*, *Parasubbotina* y *Praemurica*. A partir de este intervalo, los valores de $\%\text{CaCO}_3$ y $\delta^{13}\text{C}$ ascienden a valores muy similares a los del Maastrichtiense Superior, lo cual indica que el ecosistema se recuperó definitivamente de los efectos desencadenados por el impacto meteorítico.

Discusión y conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en los cortes de El Kef, Elles y Aïn Settara, podemos concluir que el principal patrón de extinción de los foraminíferos planctónicos es catastrófico y coincidente con el límite K/T. Las desapariciones previas al límite son muy escasas y parecen no estar relacionadas con el evento de extinción del límite. Además, durante el Maastrichtiense Superior se observa una gran estabilidad de las asociaciones faunísticas de foraminíferos planctónicos que sugiere cambios paleoceanográficos y paleoclimáticos poco importantes (Molina *et al.*, 1998; Arz *et al.*, 1999). Las extinciones previas al límite K/T identificadas por otros autores (Keller, 1988; Keller *et al.*, 1995) pueden ser una consecuencia del efecto Signor-Lipps, aspecto que ha sido comprobado en cortes como El Kef, Agost y Caravaca (Molina *et al.*, 1998; Arenillas *et al.*, en prensa).

Los cambios cualitativos y cuantitativos acontecen en y por encima del límite. En coincidencia con el límite K/T se produce la extinción de casi el 70% de las especies de foraminíferos planctónicos. La abundancia de las especies cretácicas supuestamente supervivientes disminuyen progresivamente y son sustituidas por las nuevas especies terciarias. El $\%\text{CaCO}_3$, el $\delta^{13}\text{C}$ y el índice planctónicos/bentónicos (P/B) también descendieron bruscamente en coincidencia con el límite K/T (Fig. 3) y se mantuvieron bajos durante las Biozonas de *G. cretacea* y la parte inferior de la Biozona de *Pv. eugubina*. Atendiendo a estos indicadores paleoecológicos, podemos deducir que la productividad biológica en la superficie oceánica y la abundancia de los foraminíferos planctónicos sufrieron un descenso muy brusco, disminuyendo la cantidad de carbonato biogénico y favoreciendo la formación de la arcilla del límite. Este hecho sugiere que, aunque las abundancias relativas de las especies cretácicas supuestamente supervivientes no varían mucho en los primeros centímetros del Daniense, sus abundancias absolutas descendieron bruscamente.

Las características sedimentológicas, geoquímicas, isotópicas y micropaleontológicas del final del Maas-

trichtiense y 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; Robin *et al.*, 1991; Dupuis *et al.*, en prensa). 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. Los eventos evolutivos posteriores, como la extinción progresiva de las especies posibles supervivientes, y los cambios sedimentológicos, geoquímicos e isotópicos parecen una consecuencia de los efectos secundarios a medio y largo plazo del impacto. 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. Por otro lado, la gran estabilidad de las asociaciones de foraminíferos planctónicos y la ausencia de especiaciones en el Maastrichtiense final no es muy compatible con la hipótesis gradualista de las causas múltiples, la cual implicaría la evolución de nuevas especies a lo largo de todo el tránsito K-T y no solo por encima del límite K/T.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado dentro del proyecto DGES PB97-1016. Los autores agradecen a Christian Dupuis de la *Faculté Polytechnique de Mons* (Bélgica), su colaboración en los muestreos.

Bibliografía

- Alvarez, L.W., Alvarez, W., Asaro, F. y Michel, H.V., 1980. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, **208**, 1095-1108.
- 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. *Actas XII Bienal RSEHN*, 267-271.
- Arenillas, I., Arz, J.A., Molina, E. y Dupuis, C., en prensa. An independent test of planktic foraminiferal turnover across the Cretaceous/Paleogene (K/P) boundary at El Kef (Tunisia): catastrophic mass extinction and possible survivorship. *Micropaleontology*.
- Arz, J.A., Arenillas, I., Molina, E. y Dupuis, C., 1999. La extinción en masa de foraminíferos planctónicos en el límite Cretácico/Terciario (K/T) de Elles (Tunicia): Los efectos tafonómico y "Signor-Lipps". *Revista de la Sociedad Geológica de España*, **12**(2), 251-268.
- Barrera, E. y Keller, G., 1990. Stable isotope evidence for gradual environmental changes and species survivorship across the Cretaceous/Tertiary boundary. *Paleoceanography*, **5**, 867-890.
- Canudo, J.I., Keller, G. y Molina, E., 1991. Cretaceous/Tertiary boundary extinction pattern and faunal turnover at Agost and Caravaca, SE Spain. *Marine Micropaleontology*, **17**, 319-341.
- Dupuis, C., Steurbaut, E., Molina, E., Rauscher, R., Tribouillard, N.P., Arenillas, I., Arz, J.A., Robaszynski, F., Caron, M., Robin, E., Rochia, R., Lefevre, I., Schuler, M. y Larque, P. en prensa. Biotic evolution and events across the Cretaceous-Tertiary (K/T) boundary at the Ain Settara section (Kalaat-Senan) of the Central Tunisia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.
- Kaiho, K. y Lamolda, M., 1999. Catastrophic extinction of planktonic foraminifera at the Cretaceous-Tertiary boundary evidenced by stable isotopes and foraminiferal abundance at Caravaca, Spain. *Geology*, **27**(4), 355-358.
- Keller, G. 1988. Extinction, survivorship and evolution of Planktic Foraminifera across the Cretaceous/Tertiary boundary at El Kef, Tunisia. *Marine Micropaleontology*, **13**, 239-263.
- Keller, G., Li, L. y MacLeod, N., 1995. The Cretaceous/Tertiary boundary stratotype sections at El Kef, Tunisia: How catastrophic was the mass extinction?. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **119**, 221-254.
- Keller, G., Barrera, E., Schmitz, B. y Mattson, E., 1993. Long-term oceanic instability but no mass extinction or major $\delta^{13}\text{C}$ shift in planktic foraminifera across the Cretaceous/Tertiary boundary in Northern high latitudes: Evidence from Nye Klov, Denmark. *Geological Society of America Bulletin*, **105**, 979-997.
- MacLeod, K.G. y Huber, B.T., 1996. Strontium isotopic evidence for extensive reworking in sediments spanning the Cretaceous-Tertiary boundary at ODP Site 738. *Geology*, **24**(5), 463-466.
- Molina, E., Arenillas, I. y Arz, J.A. (1996). The Cretaceous/Tertiary boundary mass extinction in planktic foraminifera at Agost (Spain). *Revue Micropaléontologie*, **39**(3), 225-243.
- Molina, E., Arenillas, I. y Arz, J.A. (1999). Mass extinction in planktic foraminifera at the Cretaceous/Tertiary boundary in subtropical and temperate latitudes. *Bulletin de la Société Géologique de France*, **169**(3), 351-363.
- Olsson, R.K., Hemleben, C., Berggren, W.A. y Huber, B.T. (1999). Atlas of Paleocene Planktonic Foraminifera. *Smithsonian Contributions to Paleobiology*, **85**, 1-252.
- Robin, E., Boclet, D., Bonte, P., Froget, L., Jehanno, C. y 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*, **107**, 715-721.
- Signor, P.W. y Lipps, J.H. (1982). Sampling bias, gradual extinction patterns and catastrophes in the fossil record. *Geological Society of America Special Paper*, **190**, 291-296.
- Smit, J. (1982). Extinction and evolution of planktonic foraminifera after a major impact at the Cretaceous/Tertiary boundary. *Geological Society of America Special Paper*, **190**, 329-352.
- Smit, J. y Nederbragt, A.J. 1997. Analysis of the El Kef blind test II. *Marine Micropaleontology*, **29**(2), 95-100.