

# Eventos de extinción y evolución de los foraminíferos planctónicos durante el Eoceno

C. Gonzalvo y E. Molina

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

## ABSTRACT

*Some progressive assemblage changes occurred during the Eocene, one appearance and two extinction events are related with the three Eocene internal boundaries. Across the Early/Middle Eocene boundary some low latitude dwellers appeared, possibly as a consequence of an increase in seawater temperature linked to a strong sea level drop. At the Middle/Late Eocene and at the Eocene/Oligocene boundaries two progressive extinction events were caused by a global cooling event. This cooling was linked to the development of the Circum-Antarctic circulation system and the development of the Antarctic ice-sheet at the beginning of the late Middle Eocene. The cooling process spanned from Middle Eocene to Oligocene. The Middle/Late Eocene progressive extinction event affected the 50% of planktic foraminifera assemblage, and the Eocene/Oligocene event affected the 40%. Both extinction events represent acceleration in a gradual mass extinction.*

**Key words:** Planktic foraminifera, Eocene, extinction.

## INTRODUCCIÓN

El periodo Eoceno se caracteriza por ser el momento con mayor diversidad específica de foraminíferos planctónicos de todo el Cenozoico. Sin embargo, durante esta época suceden varios eventos de extinción y aparición de foraminíferos planctónicos, que coinciden con los tránsitos entre los límites de los pisos. Durante el tránsito Eoceno/Oligoceno, que abarca desde la parte superior del Eoceno Medio, se produce el mayor evento de extinción en masa desde el del límite Cretácico/Terciario (Prothero y Berggren, 1992). En este momento se crea la corriente oceánica Circumantártica como consecuencia de la separación entre el continente Antártico y el Austral, lo que produce un casquete de hielo en el continente Antártico y un cambio en la circulación oceánica que se vuelve termohalina (Kennett, 1977, 1980; Ehrmann y Mackensen, 1992). En este intervalo de tiempo se produce el mayor descenso en la temperatura global desde el Mesozoico (Barrera y Hubber, 1991). Asociado a este cambio oceánico y climático se producen las extinciones de numerosos organismos tanto terrestres como marinos (Berggren y Prothero, 1992). Un evento de extinción de los foraminíferos planctónicos sirvió para definir el límite Eoceno/Oligoceno en Massignano, Italia (Premoli Silva, *et al.*, 1988; Molina *et al.*, 1993). Al contrario, durante el tránsito Eoceno Inferior-Medio no se produce un evento de extinción sino un evento de aparición, que no parece estar asociado a ninguna crisis climática ni evento catastrófico.

El análisis bioestratigráfico y taxonómico detallado de los foraminíferos planctónicos de 9 perfiles estratigráficos, y la revisión de 17 sondeos oceánicos, ha permitido estudiar la evolución de las asociaciones de foraminíferos planctónicos durante el Eoceno, sus cambios, las apariciones y las extinciones. En este trabajo se muestran los cambios en la evolución de las asociaciones de foraminíferos planctónicos durante el Eoceno y se analizan las causas que produjeron estos eventos de cambio faunístico, tanto extinciones como apariciones.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se han estudiado cuantitativamente las muestras de diferentes perfiles situados, principalmente, en España: Alamedilla, Agost, Aspe, Torre Cardela, (Cordillera Bética), Arguis, Artieda, Berdún, y Anoz, (Pirineos), y Massignano en Italia. También se han estudiado en detalle algunos sondeos oceánicos DSDP; en el océano Atlántico los Site 94 y 612, en el océano Pacífico el Site 292 y en el océano Índico el 219. Además se revisaron numerosos sondeos más: Sites 401, 363, 366 y 116 (Atlántico), 214, 216, 242, 217, 253, 223 (Índico) y 462A y 277 (Pacífico).

Las muestras tomadas se disgregaron con agua y posteriormente se levigaron, extrayendo la fracción mayor de 150  $\mu\text{m}$ , mayor de 100  $\mu\text{m}$  y mayor de 63  $\mu\text{m}$ . Dependiendo del tamaño de los foraminíferos se estudió cuantitativamente la fracción más representativa entre las dos mayores y se revisó la de menor tamaño. Para el estu-

dio cuantitativo se utilizó un microcuarteador Otto, separando una fracción de aproximadamente 300 ejemplares de cada muestra para su clasificación, y se revisó el resto de la muestra en busca de especies poco abundantes.

### TRÁNSITO EOCENO INFERIOR – EOCENO MEDIO

Durante el Eoceno Inferior, se producen dos grandes cambios en las asociaciones de foraminíferos planctónicos. El primero se produce en la base del Eoceno Inferior y consiste en la sustitución de las especies supervivientes del techo del Paleoceno por especies de morfología más simple y menos especializada. Todas las *Morozovella* heredadas del Paleoceno Superior, *Morozovella aequa*, *M. gracilis*, *M. maginodentata*, *M. subbotinae*, *M. lensiformis* y *M. formosa*, se extinguen para dar paso a la *Morozovella* que dominará el Eoceno Inferior, *Morozovella aragonensis* y a especies del género *Acarinina* o de morfología similar (*Muricoglobigerina*), como *Acarinina aspensis*, *A. colomi*, *A. decepta*, *A. pentacamerata* o *Muricoglobigerina soldadoensis*. Este evento supone la desaparición del 22 % de las especies por sólo un 9 % de apariciones (Gonzalvo, 1997b), por tanto se produce una disminución en la diversidad durante la primera parte del Eoceno Inferior, que pudo estar asociada con un descenso en la temperatura de las aguas oceánicas después del tránsito Paleoceno – Eoceno, que fue el momento de máxima temperatura y diversificación.

El segundo cambio sucede en la parte alta del Eoceno Inferior y tiene como consecuencia la aparición de 10 nuevas especies y la extinción de 9. Este relevo faunístico se puede considerar el principio del evento de cambio que sucede en el tránsito Eoceno Inferior – Eoceno Medio (Ypresiense/Luteciense). En este evento ya aparecen especies que serán características durante el Eoceno Medio, como *Subbotina boweri* o *Subbotina frontosa*, *Acarinina bullbrooki* y *Subbotina linaperta*, y otras que tendrán un periodo corto de vida, como *Morozovella dolobrata*. Si examinamos la evolución de las especies desde la última Biozona del Eoceno Inferior hasta la primera del Eoceno Medio (Gonzalvo, 1998; Gonzalvo y Molina, 1998), desde el punto de vista de los porcentajes relativos, observamos que en la última biozona del Eoceno Inferior ya hay un 34 % de nuevas especies aparecidas a raíz del segundo evento de cambio faunístico del Eoceno Inferior, en la primera muestra del Eoceno Medio este porcentaje asciende al 40%, en la siguiente muestra es del 48% y aumenta progresivamente en las siguientes muestras del Eoceno Medio hasta alcanzar el 60% (Gonzalvo, 1997b). Las especies que aparecen justo antes del límite y después de él, siempre considerando el límite en la aparición del género *Hantkenina*, son típicas de hábitat tropical o subtropical, con morfologías complejas, como *Truncorotaloides praetopilensis*, *T. rohri*, *T. topilensis*, *Morozovella spinulosa*, *M. lehneri*, *Hantkenina nuttalli*, *H. mexicana*, *H. dumblei*, o *Globigerapsis rubriformis* (Molina *et al.*, 2000a). Estamos ante un evento

de cambio, en el que se produce la renovación progresiva de un 60% de la asociación, en el que se sustituyen unas especies más cosmopolitas por otras de hábitat más tropical, más especializadas. Una subida de la temperatura de las aguas oceánicas, hubiera favorecido el incremento de diversidad en los foraminíferos planctónicos y podría haber sido la causa más probable de este evento de aparición en masa gradual, producido en una etapa transgresiva inmediatamente posterior a la gran caída del nivel del mar del límite Eoceno Inferior/Eoceno Medio.

### TRÁNSITO EOCENO MEDIO – EOCENO SUPERIOR

El Eoceno Medio es uno de los periodos de tiempo con mayor diversidad de especies de foraminíferos planctónicos. El Luteciense parece ser el periodo de tiempo más estable y cálido de todo el Cenozoico. Sólo a partir del límite Luteciense – Bartonense se produce un cambio en la asociación de foraminíferos planctónicos que puede ser interpretado como el comienzo del cambio hacia las condiciones faunísticas del Oligoceno. En la parte superior del Eoceno Medio van desapareciendo las especies más típicas de este periodo (*Igorina broedermanni*, *Hantkenina longispina*, *H. dumblei*), y a la vez se va produciendo un descenso progresivo en la diversidad. Este proceso comienza en el techo de la Biozona de *Morozovella lehneri* (Gonzalvo, 1994) de manera progresiva y se acelera en el techo del Bartonense, Biozona de *Truncorotaloides rohri* (Gonzalvo, 1997a), con las extinciones sucesivas de *Truncorotaloides topilensis*, *T. libyaensis*, *Acarinina bullbrooki*, *Turborotalia cerroazulensis*, *Acarinina spinuloinflata*, *Morozovella spinulosa*, y *Truncorotaloides rohri*. El intervalo en que se produce este descenso de la diversidad hasta el comienzo del Eoceno Superior coincide en muchos sondeos oceánicos estudiados con un hiato que podría indicar un descenso del nivel del mar en este tránsito.

Tradicionalmente se ha venido aceptando como límite Bartonense/Priabonense el evento de extinción de las especies típicas del Eoceno Medio, las de pared muricada, *Acarinina*, *Morozovella* y *Truncorotaloides*, y la aparición de *Porticulasphaera semiinvoluta*. Pero nuestros datos indican que se trata de un evento escalonado, y entre este evento y la aparición de *P. semiinvoluta* existe un intervalo de tiempo representado en varios perfiles del mundo, y que se ha sido llamado con diferentes nombres, Biozona de *Dentoglobigerina eocaena* (Canudo y Molina, 1992; Gonzalvo, 1994) y como Biozona de *Turborotalia pseudoampliapertura* (Haggag, 1990). En este intervalo se extinguen algunas especies que consiguen sobrevivir al límite Eoceno Medio/Superior, como *Acarinina rotundimarginata*, *Porticulasphaera mexicana* y *Globigerapsis subconglobata*.

Para definir el límite, Bartonense/Priabonense se ha propuesto como marcador la extinción de *Truncorotaloides*

*rohi*, por ser el último representante de las típicas formas de pared muricada del Eoceno Medio (Gonzalvo y Molina, 1996). El evento de extinción del límite Eoceno Medio/Eoceno Superior supuso la desaparición de aproximadamente el 50% de las especies de foraminíferos planctónicos, todas ellas de hábitat subtropical o tropical, especies con desarrollo de estructuras especializadas, típicas de aguas cálidas. Este gran evento de extinción es perfectamente explicable mediante un enfriamiento climático progresivo, ya que este es compatible con un patrón gradual de extinción de las especies de hábitat más cálido.

El evento de extinción de este límite es el comienzo de un descenso general en la diversidad de especies de foraminíferos planctónicos en todos los océanos, y representa el primer escalón de uno de los cambios climáticos más importantes del Cenozoico, que culmina en el Oligoceno.

### TRÁNSITO EOCENO – OLIGOCENO

Durante la primera mitad del Eoceno Superior aparecen nuevas especies y otras que ya existían se desarrollan en mayor porcentaje. La mayor parte de estas especies pasan a ocupar los espacios ecológicos dejados tras la extinción del límite Eoceno Medio/Eoceno Superior. Algunas de las nuevas especies desarrollan estructuras especializadas, formas más complejas (géneros *Hantkenina*, *Turborotalia* y *Cribohantkenina*), por tanto parece que el proceso de cambio climático permite el desarrollo de estas formas que desaparecerán en el nuevo evento de extinción gradual que se produce al final del Eoceno Superior.

El límite Eoceno/Oligoceno se caracteriza por la extinción gradual de más del 40% de las especies de foraminíferos planctónicos (*Globigerapsis index*, *Cribohantkenina inflata*, *Turborotalia cocoaensis*, *T. cunialensis*, *Hantkenina alabamensis*, *Cribohantkenina lazzarii*, etc.). Además en el registro sedimentario aparecen indicios de varios impactos meteoríticos (Keller *et al.*, 1983; 1987), pero se ha demostrado que no influyeron directamente en las extinciones (Molina *et al.*, 1993). Este enfriamiento climático parece comenzar al final del Eoceno Medio, y es consecuencia de la separación del continente Antártico del Austral. Esta separación produjo un cambio en la circulación de las masas de agua, se formó la denominada corriente Circumantártica que tiene como efecto directo la aparición de hielo en la Antártida, produciéndose un bucle de retroalimentación entre el efecto albedo del hielo y las masas de agua que lo rodean (Molina *et al.*, 2000b). La consecuencia de este fenómeno climático es un proceso de cambio en la circulación de las corrientes oceánicas, en él que va intensificándose progresivamente el dominio de las masas profundas, frías y salinas procedentes de los polos que van a ir enfriando las aguas de todos los océanos, hasta culminar con la formación de verdaderos casquetes de hielo en los polos ya en el Oligoceno Superior.

Las especies se extinguen, en este límite, son especies que se desarrollan durante el Eoceno Superior y alguna que sobrevive a la extinción del límite Eoceno Medio/Eoceno Superior (*Globigerapsis index*). Son especies de hábitat marcadamente tropical que no aparecen en latitudes medias ni altas, de aguas superficiales, y en consecuencia su extinción gradual encaja en la teoría del enfriamiento climático. Esto se ve corroborado por la asociación de foraminíferos planctónicos del Oligoceno, caracterizada por una baja diversidad y por especies “globigeriniformes”, de morfología simple.

### CONCLUSIONES

Durante el Eoceno se producen tres eventos de cambio en las asociaciones faunísticas de los foraminíferos planctónicos. En el tránsito Eoceno Inferior – Eoceno Medio se produce un evento que sigue un patrón de aparición gradual. Este evento de aumento en la diversidad en torno al 30 %, se explica con un cambio en las condiciones ambientales hacia un clima más cálido, en el que se desarrollan más favorablemente especies de hábitat tropical.

Sin embargo, a partir de la parte alta del Eoceno Medio se produce un evento de extinción en masa gradual con dos momentos en los que se aceleran las extinciones, pero que siguen el mismo patrón, la extinción gradual de un 50% de los foraminíferos planctónicos en el tránsito Eoceno Medio – Eoceno Superior, y la extinción gradual del 40% en el tránsito Eoceno Superior – Oligoceno Inferior. Estos dos eventos representan dos momentos en los que se acelera el proceso de descenso de la diversidad específica. Estos dos eventos son consecuencia del mismo fenómeno global, un cambio en las condiciones climáticas que produce un enfriamiento progresivo de las aguas oceánicas y de la temperatura del planeta, desencadenado por la separación entre la placa Antártica y la Austral y la aparición de la corriente Circumantártica y del nuevo sistema de circulación oceánica.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto DGES PB97-1016.

### REFERENCIAS

- Canudo, J.I. y Molina, E. (1992): Bioestratigrafía con Foraminíferos Planctónicos del Paleogeno del Pirineo. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie: Abhandlungen*, 186: 97-135.
- Gonzalvo, C. (1997a): Correlación paleoceanográfica con foraminíferos planctónicos del tránsito Eoceno medio-Eoceno superior entre la Cordillera Bética y el Pirineo. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 10(1-2): 33-43.

- Gonzalvo, C. (1997b): Bioestratigrafía y evolución de las asociaciones de foraminíferos planctónicos del tránsito Eoceno inferior-Eoceno medio en Alamedilla (Granada, Cordillera Bética). En: Avances en el conocimiento del Terciario Ibérico (J.P. Calvo y L. Morales, Eds.): 101-104.
- Gonzalvo, C. (1998): Evolución de las asociaciones de foraminíferos planctónicos del tránsito Eoceno Inferior-Eoceno Medio en la Península Ibérica (Agost, Cordillera Bética y Anoz, Pirineos). *Geogaceta*, 24: 157-160.
- Gonzalvo, C., Canudo, J.I. y Molina, E. (1994): Implicaciones paleoceanográficas de los foraminíferos planctónicos del tránsito Eoceno medio-Eoceno superior en la Cuenca de Jaca (Pirineos). *Comunicaciones al II Congreso del Grupo Español del Terciario*: 121-124.
- Gonzalvo, C. y Molina, E. (1996): Bioestratigrafía y Cronoestratigrafía del tránsito Eoceno medio-Eoceno superior en la Cordillera Bética. *Revista Española de Micropaleontología*, 28 (2): 25-44.
- Gonzalvo, C. y Molina, E. (1998): Planktic foraminiferal biostratigraphy across the Lower-Middle Eocene transition in the Betic Cordillera (Spain). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie: Monatshefte*, 11: 671-693.
- Keller, G., D'Hond, S.L., Orth, C.J., Gilmore, J.S., Oliver, P.Q., Shoemaker, E.M., y Molina, E. (1987): Late Eocene impact microspherules Stratigraphy, Age and Geochemistry. *Meteoritics*, 27 (1): 25-59.
- Molina, E., Gonzalvo, C. y Keller, G. (1993): The Eocene/Oligocene planktic foraminiferal transition: extinctions, impacts and hiatuses. *Geological Magazine*, 130 (4): 483-499.
- Molina, E., Cosovic, V., Gonzalvo, C., y Von Salis, K. (2000a): Integrated biostratigraphy across the Ypresian / Lutetian boundary at Agost, Spain. *Revue de Micropaleontologie* (en prensa).
- Molina, E., Alegret, L., Arenillas, I., Arz, J.A. y Gonzalvo, C. (2000b): Evidencias, causas y patrones de los eventos de extinción en el Cretácico Superior y Terciario Inferior con Foraminíferos. *Geotemas* (este mismo volumen).