

## Nanofósiles del límite Cretácico/Terciario cerca de Beloc (Haití): bioestratigrafía, composición de las asociaciones e implicaciones paleoclimáticas

Calcareous nannofossils of the Cretaceous/Tertiary boundary near Beloc (Haiti):  
biostratigraphy, assemblages composition, and palaeoclimatic implications

Roque Aguado<sup>1</sup>, Marcos A. Lamolda<sup>2</sup>, Florentin J-M.R. Maurrasse<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geología. Universidad de Jaén. E.U. Politécnica de Linares; Alfonso X El Sabio, 28; 23700  
Linares (Spain); raguado@ujaen.es

<sup>2</sup> Departamento de Estratigrafía y Paleontología. Universidad del País Vasco. Facultad de Ciencias; Apdo. 644;  
48080 Bilbao, Spain; gpplapam@lg.ehu.es

<sup>3</sup> Department of Earth Sciences. Florida International University; Tamiami Trail; Miami FL 33199, USA;  
maurrasse@fiu.edu

Received: 18/12/03 / Accepted: 01/06/04

### Resumen

Los materiales de la Formación Beloc, en la Península Meridional de Haití, presentan un buen registro del límite Cretácico/Terciario, e incluyen un nivel esferulítico resultado del impacto de Chicxulub. El estudio cuantitativo, mediante nanofósiles, de cuatro secciones en estos materiales ha permitido el reconocimiento del intervalo correspondiente a las Subzonas de *Micula murus/Nephrolithus frequens* (CC25c/CC26a) y una potente Subzona de *Micula prinsii* (CC26b) para los materiales del Cretácico superior. En los materiales de la base del Paleoceno se ha identificado la Subzona de *Cruciplacolithus primus* (CP1a). Se han observado, dentro de la Subzona CC26b, dos intervalos en los que se registra un aumento en las proporciones relativas de *Prediscosphaera stoveri* y *Ahmuellerella regularis* que, junto al descenso paralelo observado en la abundancia del indicador de aguas cálidas *Watznaueria barnesae*, se han interpretado como períodos de enfriamiento climático. Dentro de los materiales terciarios se han identificado los acmés sucesivos de *Thoracosphaera* spp. y *Neobiscutum*, como eventos significativos. En los últimos centímetros de los materiales del Maastrichtiense terminal, por debajo del nivel esferulítico, se ha observado un pequeño aumento en la proporción de *Thoracosphaera* spp., que podría suponer un leve incremento en el estrés del medio. Al contrario de lo que ocurre en otras secciones de paleolatitudes bajas, no hay registro en Beloc de ningún acmé de *Braarudosphaera* y la presencia de este taxón es sólo testimonial. Escasos especímenes de *Biantholithus* (incluyendo a *B. sparsus*), que presentan además un registro discontinuo, constituyen el único taxón claramente terciario encontrado por encima del nivel esferulítico.

*Palabras clave:* límite K/T, Haití, asociaciones de nanofósiles, bioestratigrafía, implicaciones paleoclimáticas.

### Abstract

The Beloc Formation, (Southern Peninsula of Haiti) includes a well preserved record of the Cretaceous/Tertiary boundary materials with a distinct spherulitic layer interpreted as a result of the Chicxulub impact. A quantitative nannofossil study of four sections spanning the K/T boundary has led to identify the interval corresponding to the *Micula murus/Nephrolithus frequens* (CC25c/CC26a) Subzones and a thick *Micula prinsii* (CC26b) Subzone for the Upper Cretaceous materials. Also, the Subzone of *Cruciplacolithus primus* (CP1a) has been identified in the lowest Paleogene materials. Two intervals that are characterised by an in-

crease in the relative proportions of *Prediscosphaera stoveri* and *Ahmuellerella regularis*, also show a parallel decrease in the warm water indicator *Watznaueria barnesae*. They occur within Subzone CC26b, and are interpreted as short periods of climatic cooling. Successive blooms of *Thoracosphaera* spp. and *Neobiscutum* are the most significant nannofossil events registered in the lower Tertiary materials. A small increase in *Thoracosphaera* spp. observed within the last centimeters of the uppermost Maastrichtian materials, just below the base of the spherulithic layer, may be interpreted as the result of a more stressed environment. Contrary to what is generally found in other sections from low palaeo-latitude regions, no *Braarudosphaera* bloom was observed at Beloc, and the presence of this taxon is only nominal. Rare and occasional occurrence of *Biantholithus* specimens (including *B. sparsus*) constitutes the only typically Tertiary taxa found above the spherulithic layer.

**Keywords:** K/T boundary, Haiti, nannofossil assemblages, biostratigraphy, paleoclimatic implications.

## 1. Introducción

En los alrededores de Beloc y a lo largo de la carretera de Carrefour Dufort a Jacmel, en la Península Meridional de Haití (Fig. 1), hay varias secciones en las que el paso Cretácico/Terciario (K/T) aflora en relativamente buenas condiciones. Desde el punto de vista estratigráfico, dichos materiales son asignados a la Formación Beloc (Maurrasse *et al.*, 1979/1985; Maurrasse, 1982). Ésta presenta, en su área tipo, unos 150 m de alternancia de calizas y margas con lechos discontinuos de sílex hacia la parte inferior, y tres niveles distintivos con materiales reelaborados hacia la parte superior. De estos tres niveles, el inferior es de naturaleza esferulítica y está relacionado con el límite K/T, mientras que los dos superiores son de naturaleza turbidítica y de edad Daniense basal (Maurrasse *et al.*, 1979/1985; Maurrasse, 1982; Lamolda *et al.*, 1997). Litológicamente y a nivel de detalle, en torno al límite K/T, la Fm. Beloc consiste en una alternancia de calizas margosas y margas grises y púrpura, de edad Maastrichtiense, sobre las que se dispone un nivel guía esferulítico, de entre 10 y 72 cm de espesor, a cuyo techo se observa un nivel arcilloso que presenta una anomalía de Ir (Maurrasse and Sen, 1991; Lamolda *et al.*, 1997; Keller *et al.*, 2001, 2002). Finalmente, sobre el nivel arcilloso se disponen calizas y margocalizas de color gris claro de edad Paleoceno inferior.

El nivel esferulítico, con alto contenido en microtectitas y granos multidiaclosados de cuarzo (Izett *et al.*, 1990; Sigurdsson *et al.*, 1991; Maurrasse y Sen, 1991), asociado al tránsito K/T en Beloc ha sido generalmente relacionado con el impacto de un cometa o asteroide en el cráter de Chicxulub en la Península de Yucatán (Izett *et al.*, 1990; Maurrasse y Sen, 1991; Sigurdsson *et al.*, 1991; Koeberl, 1993; Koeberl *et al.*, 1994; Maurrasse *et al.*, 2003). Sin embargo, en la actualidad aún persiste, entre la comunidad científica, un profundo debate sobre la naturaleza del evento o eventos que generaron, en la región caribeña, el nivel guía esferulítico, el cuarzo multidiaclosado y la anomalía de Ir, sobre todo a la luz de algunos trabajos recientes en los que se cita la presencia de varios niveles

esferulíticos en el entorno del límite K/T. Así, algunos autores (Lyons y Officer, 1992) sugirieron un origen exclusivamente volcánico, otros (Leroux *et al.*, 1995) sugieren múltiples impactos de cuerpos extraterrestres, mientras que otros autores apostaron por una sucesión de uno o varios eventos volcánicos y subsecuente impacto único o múltiple como causa de la sucesión registrada en el área caribeña (Jéhanno *et al.*, 1992; Keller *et al.*, 2001; 2002, entre otros).

Maurrasse *et al.* (1979/1985) y Maurrasse y Sen (1991) proporcionaron, mediante foraminíferos y radiolarios, una primera caracterización bioestratigráfica del límite K/T en los alrededores de Beloc. Posteriormente, estos mismos niveles han sido reexaminados, mediante foraminíferos planctónicos, por Lamolda *et al.*, (1997) y Keller *et al.*, (2001), dando lugar a nuevas precisiones e interpretaciones.

Mediante nanofósiles, el primer estudio se debe a Perch-Nielsen (1985b), quien no consiguió adscribir los materiales del Maastrichtiense terminal a ninguna zona por no encontrar las especies índice. En el Paleoceno inferior identificó las zonas de *Biscutum romeinii*, *Biscutum parvulum* y *Cruciplacolithus primus* (Perch-Nielsen, 1981), y situó el límite K/T por encima del nivel esferulítico. Van Fossen *et al.* (1995), realizaron un nuevo estudio, identificando las zonas NC22 y NC23 de Roth (1978) y la Zona NP1 de Martini (1971) y situando dicho límite en la base del nivel esferulítico.

El contenido micropaleontológico (foraminíferos planctónicos y nanofósiles) de la sección HA ya fue previamente estudiado por Lamolda *et al.*, (1997), citándose por vez primera la presencia del foraminífero planctónico *Plummerita hantkeninoides* y del nanofósil *Micula prinsii*, de gran interés por mostrar la presencia del Maastrichtiense terminal en Beloc. En esta sección, todas las muestras situadas por debajo de la base del nivel esferulítico (Fig. 2), entre -2 m y -0.5 cm se caracterizan, desde el punto de vista bioestratigráfico y mediante nanofósiles, por la presencia de *Micula prinsii* y *M. murus* como especies más significativas, por lo que fueron asignadas a la Subzona CC26b (*M. prinsii*). A partir de la muestra 10

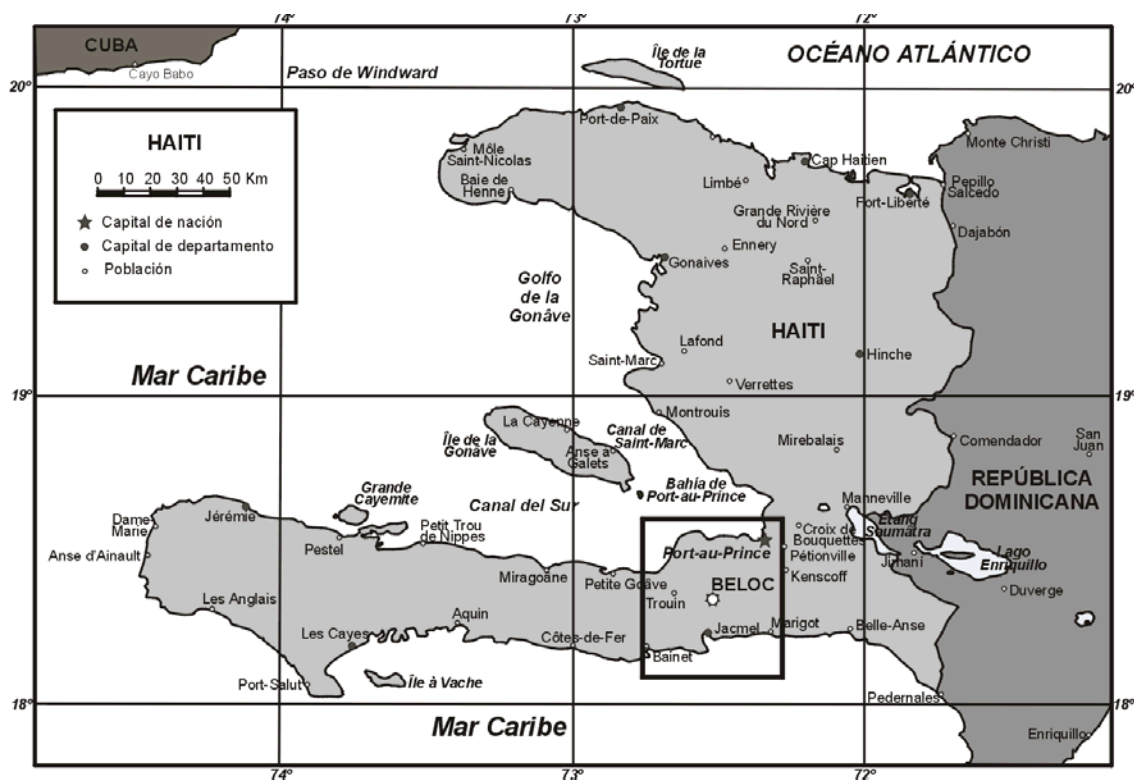


Fig. 1.- Esquema de situación del área de estudio, en la Península Meridional de Haití, en las proximidades de Beloc.

Fig. 1.- Simplified map of the Geographic location of the sections studied in the Southern Peninsula of Haiti near Beloc.

(+42 cm) y hasta el techo del nivel esferulítico se observa una notable disminución en la abundancia de los nanofósiles. Ésta se debe, en parte, al efecto de dilución por la gran cantidad de aportes no carbonatados presentes en el nivel esferulítico. Aunque en este último intervalo no se encontraron taxones terciarios, sí se observó un incremento en la proporción de especies cretácicas claramente retrabajadas y, sobre todo en su parte alta, un moderado incremento en la proporción de *Thoracosphaera* spp., por lo que fue asignado a la Subzona de *Cruciplacolithus primus* (CP1a). Finalmente, Aguado *et al.*, (2003) aportaron los datos preliminares sobre la caracterización de las asociaciones de nanofósiles del resto de las secciones estudiadas en el presente trabajo.

## 2. Material y métodos

Se han investigado las asociaciones de nanofósiles en 55 muestras que, en su conjunto cubren el intervalo comprendido entre -18 m y +9,40 m con respecto a la base del nivel esferulítico que representa, a nivel regional, la transición entre el Maastrichtiense y el Paleoceno (Maurrasse y Sen, 1991; Lamolda *et al.*, 1997; Keller *et al.*, 2001). Estas muestras se reparten en cuatro secciones (HA, HC, HD y PT; Figs. 2-5) relativamente próximas entre sí dentro de un área reducida en donde aflora la Formación

Beloc (Fig. 1). La sección HA (Fig. 2) cubre el intervalo comprendido entre -2 m y +72 cm (siempre tomando como referencia la base del nivel guía esferulítico) y se encuentra a unos 800 m al sur de la localidad de Beloc. La sección HC (Fig. 3) entre -18 m y +150 cm, es la sección clásica de la Fm. Beloc (Maurrasse *et al.* 1979/1985), situada a unos 4 Km al Sur de Beloc. La sección HD (Fig. 4) entre +160 y +940 cm, es continuación de la HA en dirección hacia Carrefour Dufort. Finalmente, la sección PT (Fig. 5) entre -95 y +430 cm, se encuentra cerca de la HC en el lugar conocido localmente por Platon Piton. La densidad del muestreo ha sido variable, y en general ésta se ha aumentado de manera progresiva hacia el nivel que representa el límite K/T; entre las cuatro secciones se complementan los muestreos para la parte terminal del Maastrichtiense y la parte basal del Daniense.

Los frotis para el estudio de la nanoflora fueron preparados a partir de la muestra original, sin tratar, con objeto de evitar posibles alteraciones en la composición de las asociaciones. El proceso seguido durante el montaje de todos los frotis consistió en diluir 0,056 g de muestra en 10 cm<sup>3</sup> de agua destilada. Para facilitar la disgregación se mantuvieron así 24 horas, agitando repetidamente. A continuación, puesto el material en suspensión, se tomaron de ésta 0,2 cm<sup>3</sup> extendiéndola sobre un portaobjetos de 19,76 cm<sup>2</sup>. Finalmente, tras el secado, se sellaron con

bálsamo del Canadá y un cubreobjetos. Este proceso es similar al descrito en Lamolda y Gorostidi (1992; 1994), y produce frotis de la misma densidad de partículas. Con objeto de determinar con fiabilidad la composición de las asociaciones se realizó un estudio cuantitativo consistente en el conteo de, al menos, 250 especímenes en cada muestra, aunque este número ha sido ampliamente sobrepasado en la mayor parte de los casos con objeto de poder observar aquellos taxones que son muy escasos.

Con objeto de facilitar la lectura de este texto, se ha optado por no escribir, tras el nombre de cada taxón, el de su autor o autores. Todos los taxones mencionados en este trabajo, con los nombres de sus respectivos autores, pueden encontrarse indexados y figurados en Perch-Nielsen (1985a) y Burnett (1998).

### 3. Litoestratigrafía

La secuencia del Cretácico terminal en Platon Piton es quizás la más completa de los numerosos afloramientos que incluyen la capa KTB en el área de Beloc, ya que los estratos calizos no están afectados tectónicamente en el intervalo comprendido entre dos capas de materiales alóctonos llamativamente diferentes, que son horizontes guía. La capa inferior es un lecho volcanogénico de 65 cm de potencia localizado a 769 cm bajo la capa de microtectitas, o lecho KTB propiamente dicho (Maurrasse et al., este número). La secuencia estratigráfica es aquí muy similar a la encontrada en la cercana localidad tipo (Maurrasse, 1982) e igualmente su litología es bastante homogénea, mostrando coloraciones de un anaranjado pálido (10YR8/2) a un anaranjado grisáceo (10YR7/4) en las superficies secas. Sin embargo, la estratificación es a menudo sólo aparente al estar relacionada con una litificación parcial o diferencial más que con límites bien definidos entre unidades. Las facies en general por debajo y por encima del lecho volcánico, hasta el lecho microtectítico, están constituidas esencialmente por biocalcilitas de foraminíferos y nanofósiles en lechos con potencias variables, entre 10 y 20 cm, y cuyos contenidos en carbonato oscilan entre el 34 y el 70 por ciento en peso del sedimento bruto seco. Por el contrario la proporción de carbonato baja entre un 1,48 y un máximo del 8 por ciento en ambos niveles guía.

Al microscopio las facies calizas pueden describirse como una biomicrita con escasos foraminíferos, así los componentes biogénicos aloquímicos tanto en las biocalcilitas como en los dos niveles guía son esencialmente foraminíferos planctónicos, aunque hay también ocasionalmente radiolarios y muy escasos foraminíferos bentónicos. La matriz en todos los niveles contiene predominantemente microesparita, la micrita es más abun-

dante en los lechos menos consolidados. La fábrica es al azar, excepto en los niveles guía donde es anisótropa, ya que los ejes mayores de los granos gruesos son paralelos o subparalelos a la estratificación.

### 4. Caracterización de las asociaciones y bioestratigrafía

#### 4.1. Asociaciones de Nanofósiles

La caracterización fundamental de las asociaciones de nanofósiles de la sección HA ya fue realizada por Lamolda et al., (1997), por lo que no nos detendremos de nuevo en comentarla. No obstante, una nueva revisión de los datos originales de esta sección, referidos a los últimos 2 m de materiales situados bajo el nivel esferulítico, parece arrojar algunos aspectos interesantes que merecen ser comentados. En particular, en el intervalo comprendido entre los 100 cm y 30 cm bajo el nivel esferulítico se registra un notable incremento en la proporción de *Prediscosphaera stoveri*, llegando ésta a alcanzar el 2.8% en la muestra 2 (Fig. 2). Este incremento en la proporción de *P. stoveri* está acompañado, en general, por unos valores relativamente altos (aunque con oscilaciones) de la proporción de *Ahmuellerella regularis*, que supera el 2% en las muestras 1, 2, 5, 7, 8 y 9 (Fig. 2). Por otro lado, *Watznaueria barnesae* presenta abundancias generalmente inferiores al 25% (promedio 26.5%, aunque con oscilaciones), en el intervalo comprendido entre las muestras 2 y 9. Sin embargo, en las muestras 1 y 2, la abundancia de este taxon es del 29%. Otro aspecto destacable lo constituye un pequeño incremento en la proporción de *Thoracosphaera* spp., cuyos valores superan el 5% en el intervalo comprendido entre las muestras 3 y 6, ambas inclusive, que corresponde al tramo entre 40 y 10 cm bajo la base del nivel esferulítico (Fig. 2).

La sección HC (Fig. 3) cubre, fundamentalmente, los materiales del Maastrichtiense superior. La especie *Micula murus* está presente a lo largo del intervalo comprendido entre las muestras 1 y 9. El registro más bajo de *M. prinsii* se ha encontrado en la muestra 3, 14 m por debajo del nivel esferulítico. Las especies más abundantes (> 1 %) son: *Micula decussata*, *Watznaueria barnesae*, *Prediscosphaera cretacea*, *Cribrosphaerella ehrenbergii*, *Lithraphidites quadratus*, *Cretarhabdus surirellus*, *Arkhangelskiella maastrichtiana*, *Ahmuellerella regularis*, *Placozygus fibuliformis* y *Microrhabdulus decoratus*. En su conjunto, entre estos diez taxones constituyen hasta el 88 % de la asociación. Las especies *Micula murus* y *M. prinsii* tienen una presencia bastante menor del 1 % de la asociación, cada una de ellas. *A. regularis* presenta, en esta sección, abundancias próximas al 1% en las muestras inferiores (1 a 4). Sin embargo, a partir de la muestra 5 y

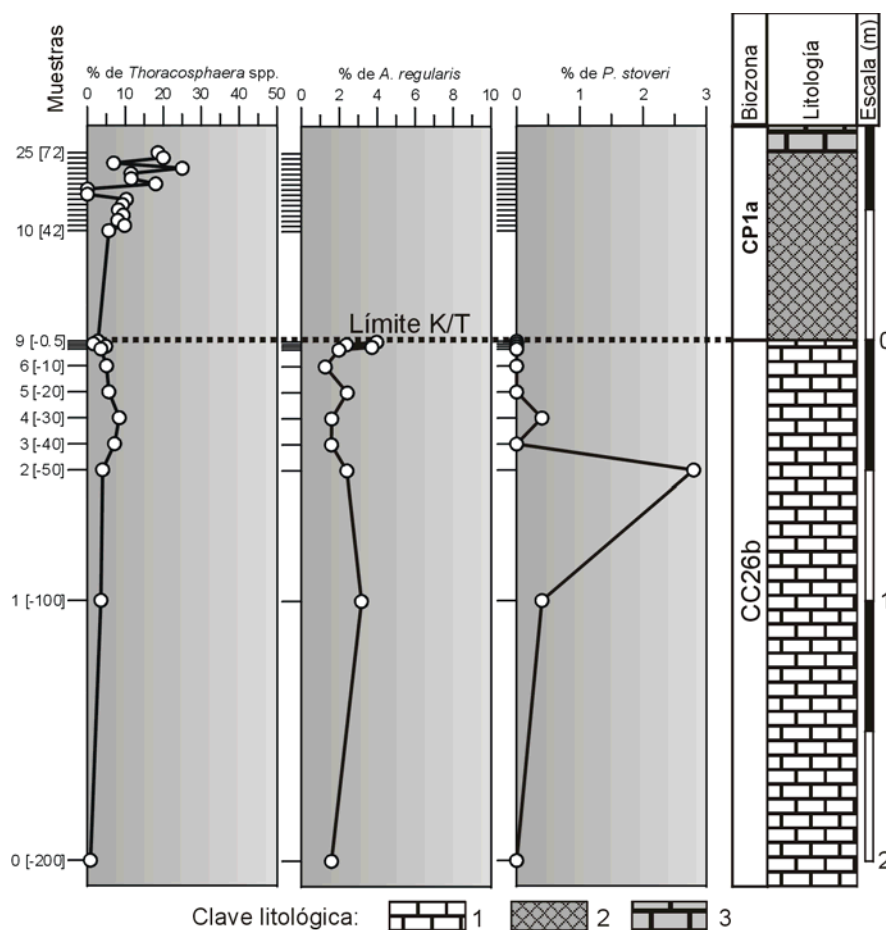


Fig. 2.- Esquema litológico, bioestratigrafía y variaciones en la abundancia de algunos taxones seleccionados, en la sección HA (Beloc). Los números entre corchetes junto a las siglas de las muestras indican la distancia en cm con respecto al límite K/T. Clave litológica: 1) alternancia de calizas margosas y margas grises y púrpura; 2) nivel de esférulas y creta, a cuyo techo se registra una anomalía de Ir; 3) calizas y margocalizas de color gris claro

Fig. 2.- Lithologic sketch, and biostratigraphy with variations in abundance of selected taxa in section HA (Beloc). Numbers in brackets close to samples designation refer to distances with respect to the position of the K/T boundary. Lithologic key: 1) alternance of marly limestones, and grey and purple marls; 2) spherulitic layer (altered microtektites) mixed with carbonate showing an Ir anomaly at the top; 3) light grey limestones and marly limestones.

hasta la muestra 9, su abundancia se incrementa (Fig. 3), alcanzando valores superiores al 2% (hasta el 8.5% en la muestra 8). *Prediscosphaera stoveri* es un taxon bastante escaso, con proporciones que no suelen superar el 0.1%, excepto en el intervalo comprendido entre las muestras 5 y 9, donde alcanza proporciones entre el 0.15% y el 0.25% (Fig. 3). La proporción media de *W. barnesae* para las muestras de la parte inferior de la sección (1 a 4) es del 40%, mientras que para el intervalo comprendido entre las muestras 5 y 9 ésta es del 26.1%, no superando nunca el 28%. Algunas de las especies encontradas, como *Eiffellithus eximius*, *Reinhardtites levis*, *Tranolithus phacelosus*, *Uniplanarius gothicus* y *U. trifidus* son claramente reelaboradas, pues es conocido que todas ellas desaparecen en niveles estratigráficamente más bajos. Se encuentran en proporciones extremadamente bajas,

de modo que para cada muestra, y en su conjunto, nunca suelen llegar al 1% del total de la asociación.

La muestra 10, tomada a 34 cm sobre la base del nivel esférulítico y dentro de éste, no presenta aún un notable incremento en la proporción de *Thoracosphaera* spp. (Fig. 3). En ella se aprecia, sin embargo, una drástica disminución de la abundancia pasando ésta, desde los 8.7 nanolitros por campo de visión (n./c.v.) a 1200x de media para las muestras inferiores, a 0.3 n./c.v., lo que supone una reducción del orden del 96% (Fig. 3). También muestra una notable disminución de la diversidad, pasándose, desde las 38.6 especies de media, para las muestras inferiores, a 15, lo que supone una reducción del orden del 61% (Fig. 3). La muestra 11 (+1,50 m), situada ya por encima del techo del nivel guía esférulítico, presenta ya una enorme proporción (casi el 45%) de *Thoracosphaera*

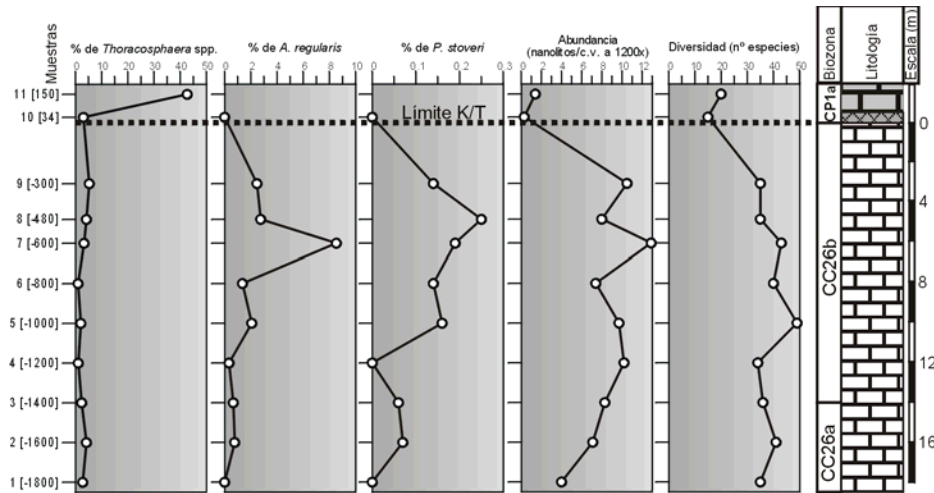


Fig. 3.- Esquema litológico, bioestratigrafía y variaciones en la abundancia de algunos taxones seleccionados, en la sección HC. Los números entre corchetes junto a las siglas de las muestras indican la distancia en cm con respecto al límite K/T. Clave litológica igual que en Figura 2.

Fig. 3.- Lithologic sketch, and biostratigraphy with variations in abundance of selected taxa in section HC. Numbers in brackets close to samples designation refer to distances with respect to the position of the K/T boundary. Lithologic key is same as in Figure 2.

spp., aunque todavía mantiene valores bajos de abundancia y diversidad (Fig. 3) y no contiene ninguna especie típicamente terciaria.

La sección HD se ha levantado íntegramente dentro de las calizas y margocalizas grisáceas situadas por encima del nivel esferulítico, cubriendo el intervalo comprendido entre +1.60 m y +9.40 m respecto a la base de este último. Las asociaciones están aún generalmente dominadas por especies cretácicas, con proporciones que varían entre un 90.4% para la parte inferior de la sección y un 43.6% para la muestra más alta. La abundancia se mantiene, en general, algo baja, con valores que oscilan entre los 1.7 y 7.1 n./c.v., y con una tendencia a ir aumentando progresivamente hacia la parte alta de la sección (Fig. 4). La diversidad presenta también una tendencia ligeramente creciente hacia la parte alta de la sección, con valores que oscilan entre 20 y 34 taxones por muestra. Sólo las siguientes especies cretácicas presentan abundancias superiores al 1%, y suponen, como promedio el 71.4% del total de la asociación: *Watznaueria barnesae*, *Micula decussata*, *Cribrosphaerella ehrenbergii*, *Prediscosphaera cretacea*, *Cretarhabdus surirellus*, y *Lithraphidites carniolensis*. Algunos de los taxones cretácicos, como *Eiffellithus eximius*, *Uniplanarius* spp. *Tranolithus phacelosus*, *Reinhardtites levis*, *Rucinolithus hayi*, *Calcicalathina oblongata* y *Nannoconus* spp. son claramente reelaborados, y aunque pueden presentar proporciones más altas que en las muestras situadas bajo el nivel esferulítico mantienen siempre abundancias absolutas pequeñas. *Thoracosphaera* spp. presenta abundancias altas (hasta el 30.4%), aunque con oscilaciones, entre +2 m y +5.20 m

para después disminuir (Fig. 4). Raros especímenes de *Biantholithus sparsus* comienzan a registrarse desde la muestra 3 (+3.10 m) en adelante. *Neobiscutum parvulum* y *N. romeinii* se encuentran por primera vez desde la muestra 6 (+6.70 m), y se mantienen con abundancias altas (un 14.6% de promedio y en conjunto) hasta el final de la sección (Fig. 4).

Finalmente, la sección PT (Fig. 5) cubre el intervalo completo del límite K/T, incluyendo los materiales del Maastrichtiense terminal, el nivel esferulítico (que aquí tiene un espesor de unos 30 cm) y las margocalizas y calizas grises del Paleoceno inferior. Sólo la muestra PT1, tomada 95 cm bajo la base del nivel esferulítico, contiene una asociación típicamente cretácica, con *Micula prinsii*, proporciones bajas de *Thoracosphaera* spp. y una asociación similar a la encontrada en las muestras del Maastrichtiense terminal de las otras secciones estudiadas. En ella, la abundancia es de 5,3 n./c.v. y la diversidad es de 33 especies. El resto de las muestras fueron ya tomadas por encima del techo del nivel esferulítico. Están caracterizadas por una disminución en la abundancia (promedio en torno a 1,8 n./c.v.) y una diversidad media también algo inferior a la cretácica, en torno a las 25 especies por muestra (Fig. 5). Las asociaciones se caracterizan por proporciones más altas de *Thoracosphaera* spp., mayores en la parte inferior (68,6% en la muestra 2) y con tendencia a ir disminuyendo (18,1% en la muestra 8) hacia la parte alta de la sección (Fig. 5). A partir de la muestra PT5 (+1,90 m) queda registrada la presencia de *Neobiscutum parvulum* y *N. romeinii*, aunque con abundancias no muy altas (0,7% a 6%).

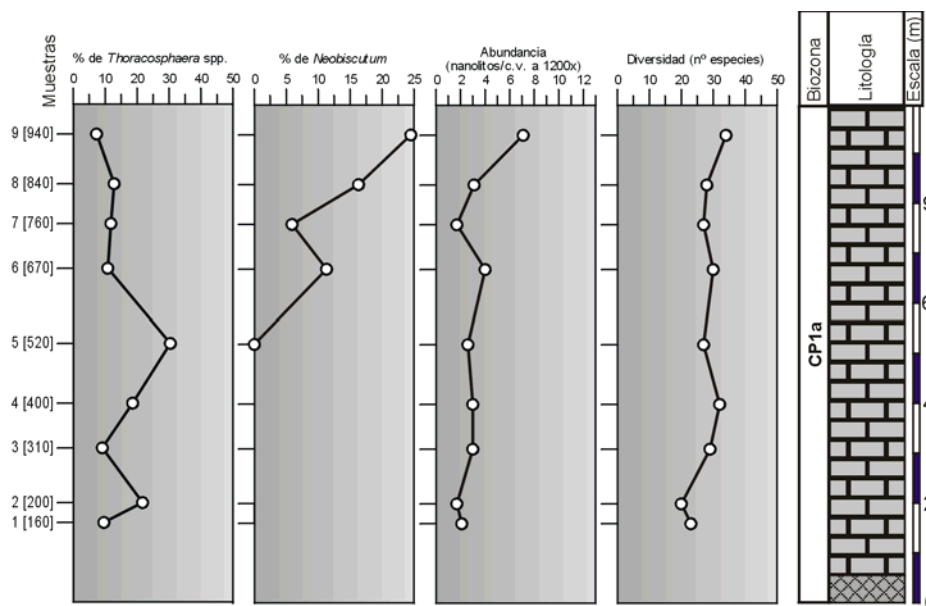


Fig. 4.- Esquema litológico, bioestratigrafía y variaciones en la abundancia de algunos taxones seleccionados, en la sección HD. Los números entre corchetes junto a las siglas de las muestras indican la distancia en cm con respecto al límite K/T. Clave litológica igual que en Figura 2.

Fig. 4.- Lithologic sketch, and biostratigraphy with variations in abundance of selected taxa in section HD. Numbers in brackets close to samples designation refer to distances with respect to the position of the K/T boundary. Lithologic key is same as in Figure 2.

#### 4.2. Biozonación

Desde el punto de vista bioestratigráfico, las asociaciones de nanofósiles han permitido identificar el intervalo correspondiente a las Subzonas de *Micula murus/Nephrolithus frequens*, sección HC, y la Subzona de *Micula prinsii*, secciones HA, HC y PT, (CC25c/CC26a y CC26b, respectivamente de la zonación de Perch-Nielsen, 1985a) para el Maastrichtiense superior, así como la Subzona de *Cruciplacolithus primus*, secciones HA, HC, HD y PT, (CP1a de Okada y Bukry, 1980) para el Paleoceno inferior. La ausencia de *Nephrolithus frequens*, conocido por su afinidad por paleolatitudes altas y la extremada escasez de *Ceratolithoides kamptneri*, del cual sólo se ha encontrado un espécimen dentro ya del intervalo correspondiente a la Subzona CC26b, hace aquí imposible la diferenciación entre las Subzonas CC25c y CC26a (Sissingh, 1977; Perch-Nielsen, 1985a; Burnett, 1998). Cabe, sin embargo, destacar el desarrollo de la Zona de *M. prinsii*, especie que tiene su primer registro 14 m por debajo del límite K/T en Beloc (sección HC) y que no ha sido identificada en ninguno de los estudios previos realizados en esta área (Perch-Nielsen, 1985b; Van Fossen et al., 1995), con la excepción del de Lamolda et al., (1997).

Recientemente, algunos autores (Keller et al., 2001), basándose en el estudio de los foraminíferos planctóni-

cos de secciones próximas interpretan la existencia de una pequeña discontinuidad en la base del nivel guía esferulítico, cuya base asignan a la Zona P1a (Zona de *Parvularugoglobigerina eugubina*) por lo que faltaría la Zona P0 (Zona de *Guembeltria cretacea*). Pero Norris et al. (1999) cuestionaban la validez de la Zona P0, proponiendo su anulación. Si realmente existiese esta discontinuidad no podría, en cualquier caso, ser apreciada a través del estudio de los nanofósiles, dada la resolución estratigráfica que proporciona este grupo en el Daniense inferior.

#### 5. Composición de las asociaciones e implicaciones paleoclimáticas

Dentro de las asociaciones de nanofósiles del límite K/T en Beloc pueden diferenciarse los clásicos grupos correspondientes a especies "cretácicas" (Fig. 6.1-6.41 y Fig. 7.1-7.29), "claramente reelaboradas" (Fig. 7.30-7.40), "supervivientes" (Fig. 8.1-8.8 y 8.11-8.12) y "claramente terciarias" o de nueva aparición (Figs. 8.9-8.10).

Las primeras constituyen una amplia mayoría respecto a los demás grupos y son predominantes en las muestras del intervalo CC25c/CC26a y la Subzona CC26b (*Micula murus/Nephrolithus frequens* y *M. prinsii*). Pero este grupo de especies es también el predominante en el intervalo estudiado asignado a la Subzona CP1a (*Cruciplacolithus*

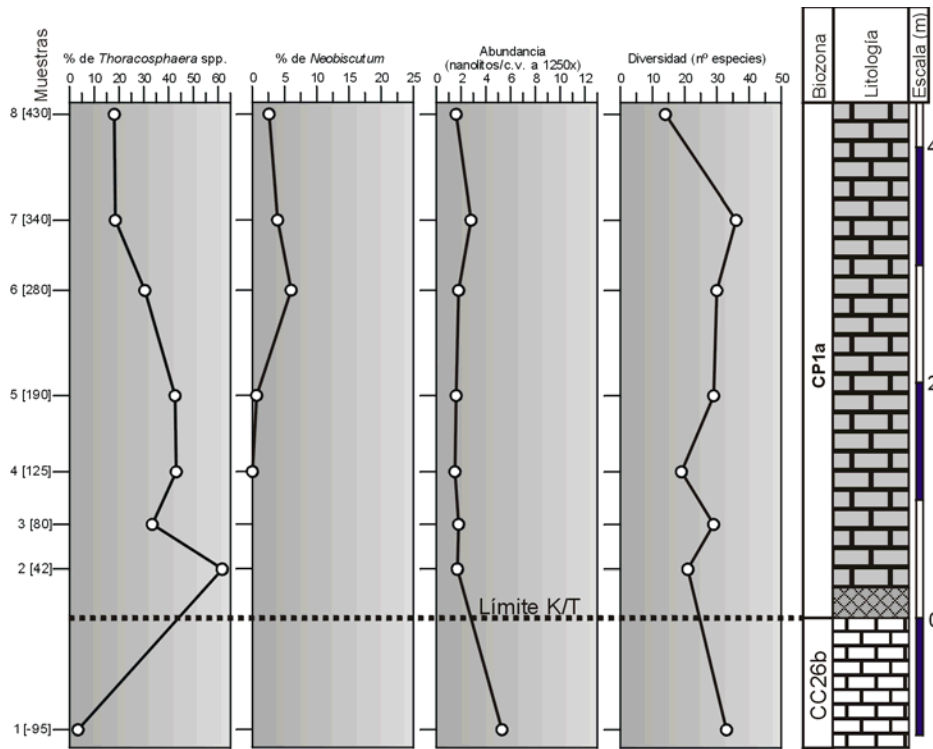


Fig. 5.- Esquema litológico, bioestratigrafía y variaciones en la abundancia de algunos taxones seleccionados, en la sección PT (Platon Piton). Los números entre corchetes junto a las siglas de las muestras indican la distancia en cm con respecto al límite K/T. Clave litológica igual que en Figura 2.

Fig. 5.- Lithologic sketch, and biostratigraphy with variations in abundance of selected taxa in section PT (Platon Piton). Numbers in brackets close to samples designation refer to distances with respect to the position of the K/T boundary. Lithologic key is same as in Figure 2.

*primus*). Al menos algunos de los especímenes de este grupo encontrados en la parte inferior de la Subzona CP1a podrían haber sido reelaborados, pero en el estado actual de conocimientos, este aspecto no está del todo claro (Mai *et al.*, 1997; Gardin, 2002). Dentro de las “especies cretácicas” del intervalo CC25c/CC26a y la Subzona CC26b, tan sólo diez taxones superan el 1% de abundancia media respecto al total de la asociación y son, por orden: *Micula decussata* (Fig. 7.1-7.2; 37.5%), *Watznaueria barnesae* (Fig. 7.20; 26,8%), *Prediscosphaera*

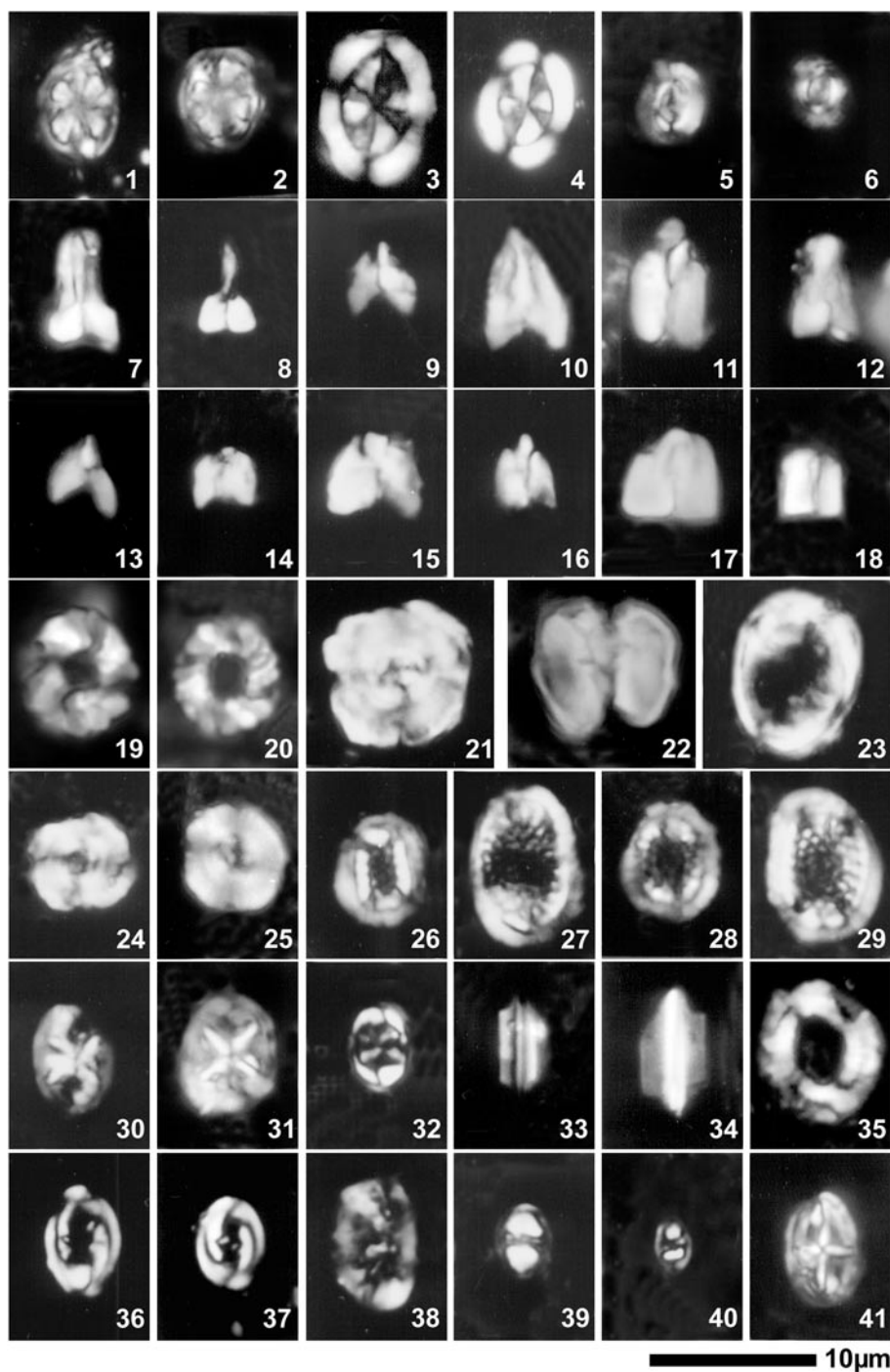
*cretacea* (Fig. 7.13-7.14; 6,6%), *Cribrosphaerella ehrenbergii* (Fig. 6.24-6.29; 4,5%), *Lithraphidites quadratus* (Fig. 6.33-6.34; 3,2%), *Cretarhabdus surirellus* (2,4%), *Arkhangelskiella maastrichtiana* (Fig. 6.3-6.4; 2,2%), *Ahmuellerella regularis* (Fig. 6.1-6.2; 2,1%), *Placozygus fibuliformis* (Fig. 6-30-6.31; 1,4%) y *Microrhabdulus decoratus* (Fig. 7.26; 1,2%). En su conjunto, entre estos diez taxones constituyen el 88,4% de la asociación. Otras especies cuya abundancia media es próxima al 1% son *Lithraphidites carniolensis*, *Cylindralithus* spp. (Fig.

Fig. 6 (pág. opuesta).- Fotomicrografías de nanofósiles cretácicos de las proximidades de Beloc. Todas realizadas bajo nicoles cruzados.

Fig. 6 (opposite page). - Photomicrographs of Cretaceous nannofossils from the Beloc area. All are viewed under crossed nicols.

- 1, 2.- *Ahmuellerella regularis* (Górka, 1957) Reinhardt and Górka, 1967; 1, muestra (sample) HC-4; 2, muestra (sample) HC-7.
- 3, 4.- *Arkhangelskiella maastrichtiana* Burnett, 1998; 3, muestra (sample) HC-6; 4, muestra (sample) HD-1.
- 5, 6.- *Biscutum* sp. cf. *B. coronum* Wind and Wise in Wise and Wind, 1977, muestra (sample) HC-5.
- 7.- *Ceratolithoides aculeus* (Stradner, 1961) Prins and Sissingh, in Sissingh, 1977, muestra (sample) HC-5.
- 8.- *Ceratolithoides brevicorniculans* Burnett, 1998, muestra (sample) HD-3;
- 9, 10.- *Ceratolithoides indiensis* Burnett, 1998; 9, muestra (sample) HD-4; 10, muestra (sample) HD-5.
- 11.- *Ceratolithoides longissimus* Burnett, 1998, muestra (sample) HC-9.
- 12.- *Ceratolithoides prominens* Burnett, 1998, muestra (sample) HC-3.
- 13.- *Ceratolithoides quasiarquatus* Burnett, 1998, muestra (sample) HC-7.
- 14, 15.- *Ceratolithoides self-trailiae* Burnett, 1998; 14, muestra (sample) HC-2; 15, muestra (sample) HD-3.
- 16-18.- *Ceratolithoides ultimus* Burnett 1998; 16, muestra (sample) HD-1; 17,18, muestra (sample) HC-5.
- 19-20.- *Criboconora gallica* (Stradner, 1963) Perch-Nielsen, 1973; 19, muestra (sample) HC-7; 20, muestra (sample) HC-10.





- 21, 22.- *Cylindralithus* sp. 1 Pospichal, 1995; 21, muestra (sample) HD-7; 22, vista lateral (lateral view) muestra (sample) HC-5.  
 23.- *Kamptnerius magnificus* Deflandre, 1959, muestra (sample) HD-8.  
 24, 25.- *Cylindralithus* sp. 2 Pospichal, 1995; 24, muestra (sample) HC-2; 25, muestra (sample) HD-7.  
 26-29.- *Cribrosphaerella ehrenbergii* (Arkhangelsky, 1912) Deflandre in Piveteau, 1952; 26-27, muestra (sample) HD-6; 28, muestra (sample) HC-5; 29, muestra (sample) HD-8.  
 30, 31.- *Helicolithus anceps* (Górka, 1957) Noël, 1970; 30, muestra (sample) HD-6; 31, muestra (sample) HC-6.  
 32.- *Helicolithus trabeculatus* (Górka, 1957) Verbeek, 1977, muestra (sample) HD-4.  
 33, 34.- *Lithraphidites quadratus* Bramlette and Martini, 1964; 33, muestra (sample) HC-2; 34, muestra (sample) HA-2.  
 35.- *Manivitella pemmatoidea* (Deflandre in Manivit, 1965) Thierstein, 1971, muestra (sample) HC-7.  
 36, 37.- *Placozygus fibuliformis* (Reinhardt, 1964) Hoffmann, 1970; 36, muestra (sample) HD-6; 37, muestra (sample) HA-2.  
 38.- *Rhagodiscus reniformis* Perch-Nielsen, 1973, muestra (sample) HD-4.  
 39, 40.- *Tranolithus minimus* (Bukry, 1969) Perch-Nielsen, 1984; 39, muestra (sample) HD-4; 40, muestra (sample) HD-6.  
 41.- *Staurolithites zoensis* Burnett, 1998, muestra (sample) HC-8.

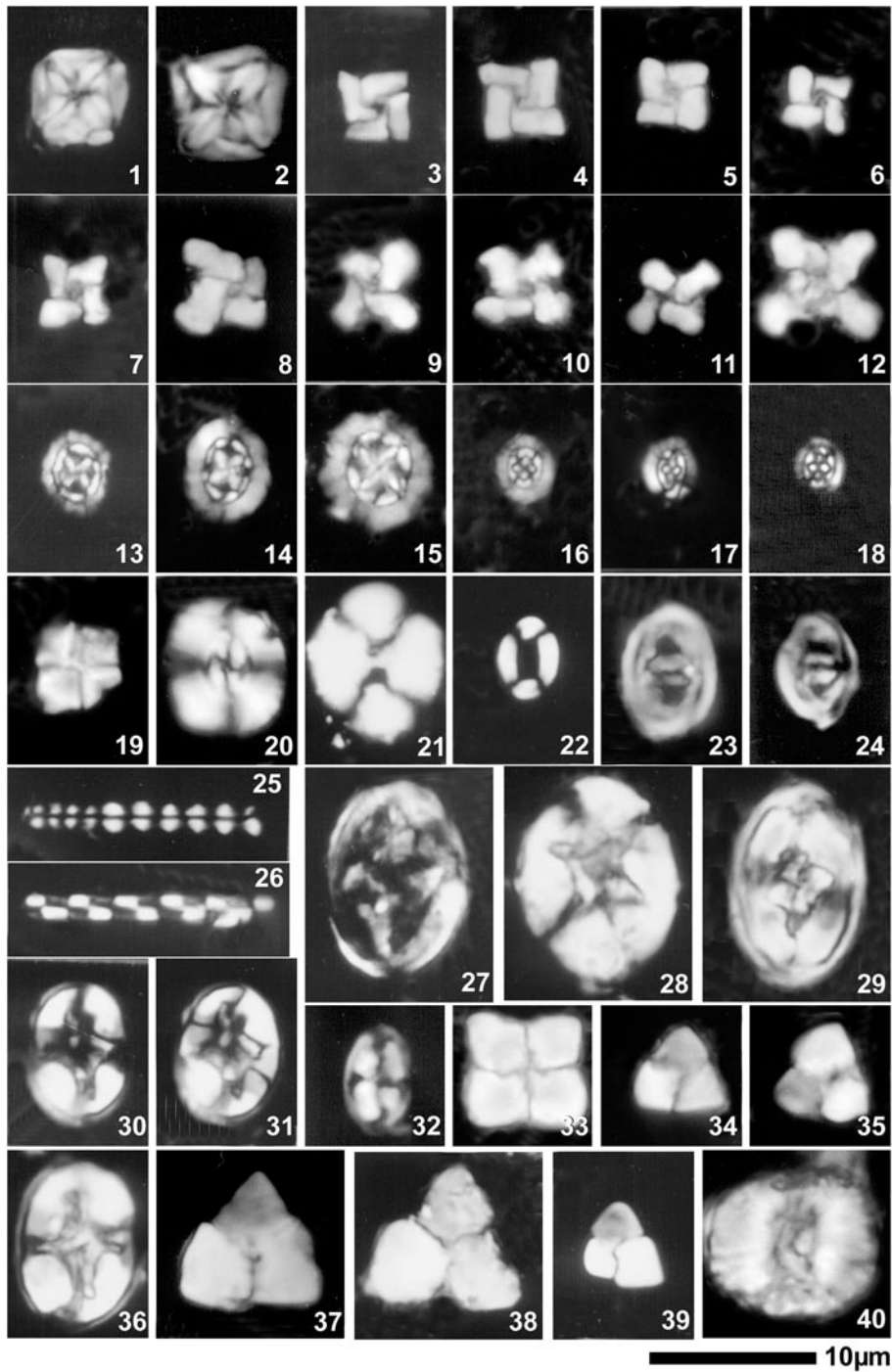


Fig. 7.- Fotomicrografías de nanofósiles cretácicos y “claramente resedimentados” (\*) de las proximidades de Beloc. Todas realizadas bajo nicoles cruzados.

Fig. 7.- Photomicrographs of Cretaceous nannofossils, including “clearly reworked” (\*) specimens, from the Beloc area. All under crossed nicols.

1, 2.- *Micula decussata* Vekshina, 1959; 1, muestra (sample) HD-3; 2, muestra (sample) HA-9.

3-6.- *Micula murus* (Martini, 1961) Bukry, 1973; 3, muestra (sample) HD-3; 4, muestra (sample) HC-3; 5, muestra (sample) HC-5; 6, muestra (sample) HC-7.

7.- Especimen de *Micula murus* próximo a *Micula prinsii*. Specimen of *Micula murus* with close affinity to *Micula prinsii*. Muestra (sample) HC-6.

8-12.- *Micula prinsii* Perch-Nielsen, 1979; 8, muestra (sample) HC-7; 9, muestra (sample) HC-9; 10, muestra (sample) HC-5; 11, muestra (sample) HA-9; 12, muestra (sample) HC-8.

13, 14.- *Prediscosphaera cretacea* (Arkhangelsky, 1912) Gartner, 1968; 13, muestra (sample) HD-3; 14, muestra (sample) HC-4.

15.- *Prediscosphaera ponticula* (Bukry, 1969) Perch-Nielsen, 1984, muestra (sample) HC-5.

6.21-6.22 y 6.24-6.25), y los representantes del género *Ceratolithoides* (Fig. 6.7-6.18) tomados en su conjunto. Del resto de especies, ninguna tiene una abundancia media que se aproxime al 1%. Entre éstas podemos destacar: *Micula murus* (Fig. 7.3-7.6), *M. prinsii* (Fig. 7.8-7.12), *Biscutum* sp. cf. *B. coronum* (Fig. 6.5-6.6), *Kamptnerius magnificus* (Fig. 6.23), *Cribracorona gallica* (Fig. 6.19-6.20), *Helicolithus anceps* (Fig. 6.30-6.31), *H. trabeculatus* (Fig. 6.32), *Manivitella pemmatoidea* (Fig. 6.35), *Rhagodiscus reniformis* (Fig. 6.38), *Tranolithus minimus* (Fig. 6.39-6.40), *Prediscosphaera ponticula* (Fig. 7.15), *P. stoveri* (Fig. 7.16-7.18), *Zeughrabdodus bicrescenticus* (Fig. 7.23-7.24), *Microrhabdulus attenuatus* (Fig. 7.25), *Gartnerago segmentatum* (Fig. 7.27) y *Eiffellithus postpichalii* (Fig. 7.28). Además de todas estas, también se encuentran algunas especies más exóticas como *Stauroolithites zoensis* (Fig. 6.41), *Pseudomicula quadrata* (Fig. 7.19), *Ellipsagelosphaera ovata* (Fig. 7.22) o *Gorkaea pseudanthophorus* (Fig. 7.29). El resto de taxones cretácicos presentan ya abundancias extremadamente bajas.

Dentro del grupo de especies “claramente reelaboradas” incluimos taxones encontrados, tanto en las muestras de las Subzonas CC25c/CC26a y CC26b como en la CP1a, y cuyo biohorizonte de última aparición es claramente anterior a la base de la CC25c. Ninguno de estos taxones supera el 0.20% de abundancia con respecto al total de la asociación, aunque, en general, son más comunes en las muestras terciarias que en las cretácicas. Algunos de estos taxones, como *Eiffellithus eximius* (Fig. 7.30-7.31, 7.36), *Uniplanarius* sp.1, *U. trifidus* (Fig. 7.34-7.39), *U. gothicus* (Fig. 7.33), *U. sissinghii* o *Tranolithus phacelosus* (Fig. 7.32), están ya presentes en las muestras de las Subzonas CC25c/CC26a y CC26b, además de en las de la CP1a. Otros, como *Broinsonia parca* ssp. *constricta*, *Reinhardtites levis*, *Rucinolithus hayi*, *Calcicalathina*

*oblongata*, *Nannoconus steinmannii* ssp. *steinmanni* o *N. truitii* (Fig. 7.40) sólo se han registrado en las muestras terciarias.

El grupo de “supervivientes” lo constituyen un conjunto, más bien escaso, de taxones que están presentes en el Maastrichtense superior y que persisten en el Paleoceno inferior donde, incluso, llegan a ser más abundantes.

Entre estos, merece una especial consideración *Thoracosphaera* spp. (Fig. 8.11-8.12). Se trata de un dinoflagelado calcáreo que habitualmente se estudia conjuntamente con los nanofósiles. Su abundancia media varía bastante entre las muestras cretácicas (3,5%) y las terciarias (30,1%), aunque hay bastantes oscilaciones, sobre todo dentro de la Subzona CP1a, donde llega a alcanzar el 42,7% respecto al total de la asociación (Figs. 2-5). El incremento en la abundancia de *Thoracosphaera* spp. es uno de los criterios fundamentales a la hora de definir el límite K/T. En cuanto a los representantes del género *Neobiscutum* (*N. parvulum*, Fig. 8.2-8.6 y *N. romeinii*, Fig. 8.7-8.8), son ya algunos los autores (Mai et al., 1997, 2003; Gardin y Monechi, 1998; Gardin, 2002) que citan su presencia, aunque muy escasa, en sedimentos de edad Maastrichtense terminal. Aunque en el presente estudio no se ha encontrado ningún espécimen asignable a alguno de estos dos taxones en muestras de edad Maastrichtense superior, de acuerdo con lo anterior son incluidos en el grupo de especies “supervivientes”. En cualquier caso, el aspecto más destacable en lo que se refiere al género *Neobiscutum* es su prominente acmé (Gorostidi y Lamolda, 1995; Gardin, 2002; Mai et al., 2003; Tantawy, 2003, entre otros) en la Subzona CP1a (Figs. 4 y 5). El resto de taxones asignados a este grupo, como *Cyclagelosphaera reinhardtii* (Fig. 8.1) o *Braarudosphaera bigelowii* presentan una abundancia muy baja, apenas testimonial.

16-18.- *Prediscosphaera stoveri* (Perch-Nielsen, 1968) Shafik and Stradner, 1971; 16, muestra (sample) HC-5; 17, muestra (sample) HC-7; 18, muestra (sample) HA-4.

19.- *Pseudomicula quadrata* Perch-Nielsen, 1978, muestra (sample) HC-4.

20.- *Watznaueria barnesae* (Black, 1959) Perch-Nielsen, 1968, muestra (sample) HC-9.

21.- *Watznaueria biporta* Bukry, 1969, muestra (sample) HD-6.

22.- *Watznaueria ovata* Bukry, 1969, muestra (sample) HD-1.

23, 24.- *Zeughrabdodus bicrescenticus* (Stover, 1966) Burnett in Gale et al., 1996; 23, muestra (sample) HC-9; 24, muestra (sample) HA-2.

25.- *Microrhabdulus attenuatus* (Deflandre, 1959) Deflandre, 1963, muestra (sample) HD-6.

26.- *Microrhabdulus decoratus* Deflandre, 1959, muestra (sample) HD-8.

27.- *Gartnerago segmentatum* (Stover, 1966) Thierstein, 1974, muestra (sample) HD-3.

28.- *Eiffellithus postpichalii* Burnett, 1998, muestra (sample) HD-4.

29.- *Gorkaea pseudanthophorus* (Bramlette and Martini, 1964) Varol and Girgis, 1994, muestra (sample) HD-4.

30-31, 36.- \* *Eiffellithus eximius* (Stover, 1966) Perch-Nielsen, 1968; 30, 31, muestra (sample) HD-2; 36, muestra (sample) HD-4.

32.- \* *Tranolithus phacelosus* Stover, 1966, muestra (sample) HC-6.

33.- \* *Uniplanarius gothicus* (Deflandre, 1959) Hattner and Wise, 1980, muestra (sample) HC-3.

34-35, 37-39.- \* *Uniplanarius trifidus* (Stradner, in Stradner and Papp, 1961) Hattner & Wise, 1980; 34, muestra (sample) HC-4; 35, muestra (sample) HC-5; 37, muestra (sample) HC-7; 38, muestra (sample) HD-8; 39, muestra (sample) HD-1.

40.- \* *Nannoconus truitii* Brönnimann, 1955, muestra (sample) HC-10.

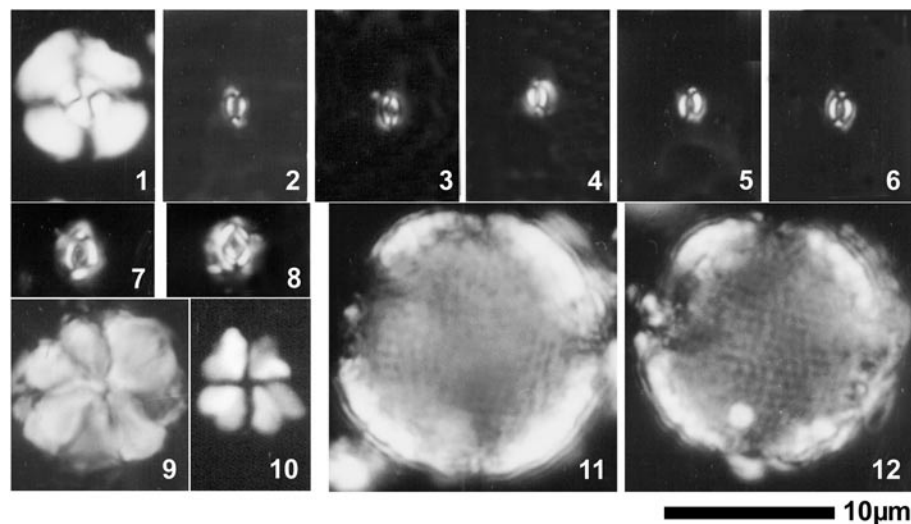


Fig. 8.- Fotomicrografías de nanofósiles “supervivientes” (\*) y terciarios de las proximidades de Beloc. Todas realizadas bajo nicols cruzados.

Fig. 8.- Photomicrographs of nannofossils from the Beloc area, including both “survivors” (\*) and Tertiary taxa. All are viewed under crossed nicols.

1.- \**Cyclagelosphaera reinhardtii* (Perch-Nielsen, 1968) Romein, 1977, muestra (sample) HD-5.

2-6.- \**Neobiscutum parvulum* (Romein, 1979) Varol, 1989, muestra (sample) HD-6.

7, 8.- \**Neobiscutum romeinii* (Perch-Nielsen, 1981) Varol, 1989; 7, muestra (sample) HD-6; 8, muestra (sample) HD-7.

9.- *Biantholithus sparsus* Bramlette and Martini, 1964, muestra (sample) HD-3.

10.- *Biantholithus* sp., muestra (sample) HD-7.

11, 12.- \**Thoracosphaera* sp.; 11, muestra (sample) HD-5; 12, muestra (sample) HD-4.

Los únicos taxones que hemos encontrado dentro del intervalo correspondiente a la Subzona CP1a, y que deben ser considerados como especies “claramente terciarias” son *Biantholithus sparsus* (Fig. 8.9) y *Biantholithus* sp. (Fig. 8.10). Ambos son sumamente escasos (en total, sólo se han encontrado 3 especímenes) y de registro discontinuo, lo cual es concordante con la afinidad boreal del género *Biantholithus*.

Tal como hemos visto, las asociaciones del Maastrichtiense superior de Beloc presentan una alta diversidad y un marcado carácter tetísico, con abundancia de especies típicas de latitudes medias y bajas y son, en este sentido muy semejantes a las que pueden encontrarse, en el SE de España, en los sedimentos de la Cordillera Bética (Aguado, 1993; Melinte *et al.*, 2003). Sin embargo, el Maastrichtiense estuvo caracterizado, en lo que a los nanofósiles se refiere, por un provincialismo latitudinal (Worsley y Martini, 1970; Worsley, 1974) como respuesta a un enfriamiento global (Watkins *et al.*, 1991). En Beloc, en las secciones HA y HC, y a lo largo de la parte media y alta de la Subzona de *M. prinsii* (CC26b) se registran, intermitentemente, intervalos con una mayor proporción de *Prediscosphaera stoveri* (Figs. 2 y 3). Esta especie es más común en paleolatitudes altas, donde presenta un acmé en el Maastrichtiense superior (Pospichal, 1996a). En paleolatitudes bajas, salvo alguna excepción

(Jiang y Gartner, 1986), suele mostrar sólo un incremento en su abundancia relativa (Gardin, 2002, Tantawy, 2003), como ocurre en Beloc. Este incremento ha sido interpretado como el reflejo de un descenso en la temperatura de las aguas superficiales durante el final del Maastrichtiense (Pospichal, 1996a; Gardin, 2002). *Ahmuellerella regularis* parece mostrar en Beloc un comportamiento paralelo al de *P. stoveri*, aumentando su abundancia relativa en el mismo intervalo (Figs. 2 y 3). Además, a lo largo de parte de la Subzona CC26b se registran en Beloc algunos especímenes de *Kamptnerius magnificus*, y *Gartnerago segmentatum* especies conocidas ambas por ser más abundantes en paleolatitudes altas (Pospichal y Wise, 1992; Pospichal, 1996a; Gardin, 2002), aunque no se han encontrado ni *Ahmuellerella octoradiata* ni *Nephrolithus frequens*. Por otro lado, *Watznaueria barnesae* es una especie que presenta proporciones más altas en paleolatitudes bajas (Wind, 1979) y muestra, en Beloc, un comportamiento contrario a *A. regularis* y *P. stoveri*. En efecto, mientras que la proporción media de *W. barnesae* en las muestras en que *A. regularis* y *P. stoveri* son menos abundantes es de un 28.34%, ésta disminuye hasta el 24.11% de promedio en las muestras donde se registra una mayor abundancia de dichos taxones. Algunos otros nanofósiles, tales como *Micula murus*, *Micula prinsii* o *Lithraphidites quadratus*, generalmente más relaciona-

dos con paleolatitudes medias y bajas, no presentan, en las secciones estudiadas, una pauta clara en las variaciones de su abundancia relativa. Aunque no está muy claro, en su conjunto, parecen presentar un pequeño incremento en su abundancia hacia la mitad de la Subzona CC26b, coincidiendo en parte con las mayores abundancias de *P. stoveri* y *A. regularis*. Este hecho habría que explicarlo en términos de diferencias en la preservación o tal vez a variaciones en la productividad. Otro género relacionado con paleolatitudes bajas es *Ceratolithoides* que, en Beloc, presenta una alta diversidad específica. Las diferentes especies de este género presentan, en general, abundancias muy bajas siendo uno de los más abundantes *C. ultimus*, con valores en torno al 0.1%. Tampoco se ha observado, en Beloc, una pauta clara en lo que se refiere a las variaciones en la abundancia del género *Ceratolithoides* durante el Maastrichtiense terminal. Todo esto parece indicar la existencia de cortos periodos de enfriamiento de las aguas superficiales al final del Maastrichtiense (Lamolda y Gorostidi, 1994; Pospichal, 1996a; Gardin, 2002; Keller et al., 2002; Melinte et al., 2003). En concreto, en Beloc parecen deducirse, al menos dos de estos periodos, ambos dentro de la Subzona CC26b, ambos caracterizados por incrementos en la abundancia de *P. stoveri* y *A. regularis* (Figs. 2 y 3): el primero entre -10 m y -3 m, con un máximo en torno a -6 m; el segundo alrededor de -50 cm bajo el límite K/T y prácticamente hasta dicho límite. Usando la escala geocronológica de Gradstein et al., (1995), la edad del límite K/T corresponde a 65.0 millones de años (m.a.). De acuerdo con varios autores (Henriksson, 1993; Pardo et al., 1996; Li y Keller, 1998), la primera aparición de *Micula prinsii* tiene lugar justo por encima de la base del magnetocron C29r. Datada esta última como 65.6 m.a., Abramovich et al. (2002) estiman una duración total de unos 580.000 años para la Subzona de *Micula prinsii* (CC26b). Los dos periodos de enfriamiento observados en Beloc se corresponden con la parte inferior y media y con la parte final, respectivamente, de dicha Subzona. Sin embargo, no es posible, en nuestra opinión, realizar mayores precisiones ya que no poseemos datos fiables acerca de las posibles variaciones de la tasa de sedimentación en Beloc, para este corto intervalo.

*Thoracosphaera* spp. prolifera generalmente en medios con cierto grado de estrés (Hildebrand-Habel et al., 1999; Gardin, 2002). En las muestras del Maastrichtiense superior de Beloc, *Thoracosphaera* spp. presenta abundancias que no suelen superar el 5%, aunque entre 30 y 40 cm por debajo del nivel esferulítico se registran valores entre el 7 y 8,4% (Fig. 2). Esto podría ser interpretado como un pequeño incremento en la inestabilidad del medio predecidiendo al límite Cretácico/Terciario.

Las muestras más bajas del Paleoceno inferior se caracterizan, en Beloc, por presentar una disminución en la abundancia de los nanofósiles (Figs. 3-5) respecto a las del Cretácico. En el Paleoceno inferior, las asociaciones se caracterizan por un aumento relativamente brusco en la proporción de *Thoracosphaera* spp. (con importantes oscilaciones entre el 10% y más del 60%), y la persistencia de especies cretácicas (Figs. 2-5). En general, sólo se alcanzan proporciones relativamente altas (superiores al 25%) de *Thoracosphaera* spp. por encima del techo del nivel guía esferulítico, y éstas van disminuyendo progresivamente desde el primer registro del género *Neobiscutum*. Los primeros especímenes de *Neobiscutum parvulum* y *N. romeinii* se han encontrado unos 190 cm por encima del límite K/T en la sección PT (Fig. 5), y rápidamente aumentan su abundancia a lo largo del resto de la Subzona CP1a, hasta alcanzar valores próximos al 25% a los +9.40 m (Fig. 4), en lo que constituye el comienzo de un acmé de estos taxones.

A partir de los 3 m sobre el límite se registra la primera aparición de *Biantholithus sparsus* y *Biantholithus* sp. (sección HD) que constituyen los únicos taxones netamente terciarios, aunque son sumamente escasos y de registro discontinuo, dada su afinidad por paleolatitudes altas. *Braarudosphaera bigelowii* es un taxón conocido por desarrollarse preferentemente en medios eutrofos y marginales (Cunha y Shimabukuro, 1997). En otras secciones de paleolatitudes bajas (Gardin y Monechi, 1998; Tantawy, 2003), *B. bigelowii* presenta acmés en el límite K/T, pero en Beloc, en el presente estudio, sólo ha sido encontrada de forma testimonial (sólo dos especímenes). Su marcada escasez podría ser explicada en términos de factores controlados por la paleogeografía, y la distribución de nutrientes y/o salinidad.

## 6. Conclusiones

Los materiales de la Formación Beloc (Península Meridional de Haití) muestran un adecuado registro del límite K/T, en el que se incluye un nivel esferulítico, cuya base parece coincidir con él.

El estudio cuantitativo, mediante nanofósiles, de cuatro secciones del entorno del límite K/T en Beloc nos ha permitido identificar el intervalo correspondiente a las Subzonas de *Micula murus/Nephrolithus frequens* (CC25c/CC26a) y la Subzona de *Micula prinsii* (CC26b) para el Maastrichtiense superior, y la Subzona de *Cruciplacolithus primus* (CP1a) para el Paleoceno basal. En la Figura 9 pueden verse, de modo resumido, los principales bioeventos observados en el grupo de los nanofósiles en torno al límite K/T en Beloc. Tanto la bioestratigrafía, (la Subzona CC26b tiene una potencia de 14 m, parecida a

EDAD	ZONA	Resumen bioeventos de nanofósiles en el área de Beloc
PALEOCENO	<i>Cruciplacolithus primus</i> (Cp1a)	Acme de <i>N. parvulum</i> + <i>N. romeinii</i> [HD+670 cm]
		<i>Biantholithus sparsus</i> [HD+310 cm]
		Acme de <i>Thoracosphaera</i> spp. [PT+42cm]
		<i>Neobiscutum parvulum</i> [PT+190 cm]
MAASTRICHTIENSE	<i>Micula prinsii</i> (CC26b)	Pequeño incremento de <i>Thoracosphaera</i> spp. [HA-40cm a -10cm]
		Pico en abundancia de <i>P. stoveri</i> [HA-50cm]
	<i>M. murus/N. frequens</i> (CC25c/CC26a)	Incremento en las proporciones de <i>A. regularis</i> y <i>P. stoveri</i> [HC-10 m]
		<i>Micula prinsii</i> [HC-14 m]

Fig. 9.- Síntesis de los principales bioeventos observados en el grupo de los nanofósiles en torno al límite K/T en Beloc. Las zonas sombreadas corresponden a períodos de enfriamiento.

Fig. 9.- Composite sketch of the main nannofossil bioevents observed associated with the K/T boundary at Beloc. The shaded zones correspond to cooling intervals.

la de otras localidades citadas por Gorostidi y Lamolda, 1995, p. 160), como las características de las asociaciones encontradas favorecen una representación completa del tránsito K/T en Haití, tanto del Maastrichtiense terminal como del Daniense basal.

Dentro de las asociaciones de nanofósiles se han separado los clásicos grupos de especies “cretácicas”, “claramente reelaboradas”, “supervivientes” y “claramente terciarias” o de nueva aparición. De éstos, el primero de ellos el más abundante y compuesto, fundamentalmente por los taxones: *Micula decussata*, *Watznaueria barnesae*, *Prediscosphaera cretacea*, *Cribrosphaerella ehrenbergii*, *Lithraphidites quadratus*, *Cretarhabdus surirellus*, *Arkhangelskiella maastrichtiana*, *Ahmullerella regularis*, *Placygyrus fibuliformis* y *Microrhabdulus decoratus*. Las especies “claramente reelaboradas” son proporcionalmente mucho más escasas, consisten, en su mayor parte, en taxones de edad Campaniense o Maastrichtiense inferior, y están presentes desde la Zona CC25c.

Su proporción aumenta, sin embargo, de modo significativo por encima de la base del nivel esferulítico, al tiempo que se registran algunos otros taxones del cretácico inferior. Entre las especies “supervivientes”, los taxones más abundantes son *Thoracosphaera* spp. y *Neobiscutum* (*N. parvulum* y *N. romeinii*). Ambos presentan acmés sucesivos en la parte basal del Terciario. Por último, en lo que se refiere a taxones “claramente terciarios”, los únicos encontrados en el presente estudio en Beloc han sido algunos (muy escasos y con registro discontinuo) representantes del género *Biantholithus*, incluyendo entre éstos a *B. sparsus*.

El estudio cuantitativo de las muestras ha permitido observar, en el interior de la Subzona CC26b, dos intervalos caracterizados por el incremento en la proporción de taxones característicos de paleolatitudes altas (sombreados en Fig. 9), como son *Prediscosphaera stoveri* y *Ahmullerella regularis*. Estos intervalos presentan, además proporciones más bajas de *Watznaueria barnesae*, que es más abundante en paleolatitudes bajas, y que es considerado un indicador de aguas superficiales cálidas. Dichos intervalos se interpretan, de acuerdo con lo anterior, como cortos períodos de enfriamiento de las aguas superficiales durante el Maastrichtiense terminal, que suponen un cierto deterioro climático, y han sido descritos, mediante nanofósiles, en algunos otros lugares de paleolatitud baja como el N. de España (Lamolda y Gorostidi, 1994), Túnez (Gardin, 2002), o el SE de España (Melinte et al., 2003), aunque pueden ser también observados en Texas (Jiang y Gartner, 1986) y Egipto (Tantawy, 2003).

En Beloc se ha observado un pequeño incremento en la proporción de *Thoracosphaera* spp. en los últimos 50 cm del Maastrichtiense terminal. Dadas las características paleoecológicas de este género, este pequeño incremento podría estar relacionado con un aumento en el estrés e inestabilidad del medio en el intervalo inmediatamente precedente al límite K/T.

Mientras que en otras secciones de paleolatitudes bajas se observa, por encima del límite K/T un acmé de *Braardosphaera*, en Beloc, no sólo no se registra dicho evento, sino que la presencia de este taxón es sumamente escasa y apenas testimonial. Esta escasez puede ser explicada en términos de factores controlados por la paleogeografía, y la distribución de nutrientes.

La fuerte caída del 96% en la abundancia absoluta en el registro de nanofósiles coincidente con el límite K/T es similar a la encontrada en Bidart, 92% (Gorostidi y Lamolda, 1995), El Kef, 99%, y El Mulato (México), 90% (Pospichal, 1994 y 1996b, respectivamente) aún cuando las condiciones de depósito y la paleobiogeografía fueron diferentes. Estas circunstancias favorecen una extinción

masiva de la nanoflora y un buen registro sin interrupciones significativas.

## 7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido subvencionado en parte por los proyectos PB97-0826 y BTE2001-3020 de la DGESIC y por el grupo de investigación RNM-200 de la Junta de Andalucía. Agradecemos a la Dra. M. C. Melinte la revisión del texto y sus apreciados y constructivos comentarios.

## 8. Referencias

- Abramovich, S., Keller, G., Addate, T., Stinnesbeck, W., Hottinger, L., Stueben, D., Berner, Z., Ramanivosoa, B., Randriamanantenasoa, A. (2002): Age and paleoenvironment of the Maastrichtian to Paleocene of the Mahajanga Basin, Madagascar: a multidisciplinary approach. *Marine Micropaleontology*, 47: 17-70.
- Aguado, R. (1993): *Nanofósiles del Cretácico de la Cordillera Bética. Bioestratigrafía*. Tesis Doctoral, Dpt. Estratigrafía y Paleontología, Universidad de Granada, 413 pp.
- Aguado, R., Lamolda, M.A., Maurrasse, F.J.-M.R. (2003): Caracterización del Límite K/T en Beloc (Haiti): nanoflora calcárea. *Abstract book, Bioevents: their stratigraphical records, patterns and causes*, Caravaca de la Cruz, p. 77.
- Burnett, J.A. (1998): Upper Cretaceous. In: P.R. Bown (ed): *Calcareous nannofossil biostratigraphy*: 132-199. Chapman & Hall, London.
- Cunha, A.S., Shimabukuro, S. (1997): *Braarudosphaera* blooms and anomalous enrichments of *Nannoconus*: evidence from the Turonian south Atlantic, Santos basin, Brazil. *Journal of Nannoplankton Research*, 19: 51-55.
- Gardin, S. (2002): Late Maastrichtian to early Danian calcareous nannofossils at Elles (Northwest Tunisia). A tale of one million years across the K-T boundary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 178: 211-231.
- Gardin, S., Monechi, S. (1998): Paleocological change in middle to low-latitude calcareous nannoplankton at the Cretaceous/Tertiary boundary. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 169: 709-723.
- Gorostidi, A., Lamolda, M.A. (1995): La nanoflora calcárea y el tránsito KT de la sección de Bidart (SW de Francia). *Revista Española de Paleontología*, Nº homenaje al Dr. G. Colom: 153-168.
- Gradstein, F.M., Agterberg, F.P., Ogg, J.G., Hardenbol, J., Van Veen, P., Thierry, J., Huang, Z. (1995): A Triassic, Jurassic and Cretaceous time scale. In: W.A. Berggren, D.V. Kent, M.P. Aubry, J. Hardenbol (eds.): *Geochronology, time scales and global stratigraphic correlation*. The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 54: 95-128.
- Henriksson, A.S. (1993): Biochronology of the terminal Cretaceous calcareous nannofossil Zone of *Micula prinsii*. *Cretaceous Research*, 14: 59-68.
- Hildebrand-Habel, T., Willems, H., Versteegh, G.J.M. (1999): Variations in calcareous dinoflagellate associations from the Maastrichtian to Middle Eocene of the western South Atlantic Ocean (São Paulo Plateau, DSDP Leg 39, Site 356). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 106: 57-87.
- Izett, G., Maurrasse, F.J.-M.R., Lichte, F.E., Meeker, G.P., Bates, R. (1990): Tektites in the Cretaceous/Tertiary boundary rocks on Haiti. *U.S. Geological Survey, Open File Report*, 90-635: 1-122.
- Jéhanno, C., Boclet, D., Froget, L., Lambert, B., Robin, E., Rocchia, R., Turpin, L. (1992): The Cretaceous-Tertiary boundary at Beloc, Haiti: no evidence for an impact in the Caribbean area. *Earth and planetary Science Letters*, 109: 229-241.
- Jiang, M.J., Gartner, S., Jr. (1986): Calcareous nannofossil succession across the Cretaceous/Tertiary boundary in east-central Texas. *Micropaleontology* 32: 232-255.
- Keller, G., Adatte, T., Stinnesbeck, W., Affolter, M, Schilli, L., López-Oliva, J.G. (2002): Multiple spherule layers in the late Maastrichtian of northeastern Mexico. *Geological Society of America Special Paper*, 356: 145-161.
- Keller, G., Adatte, T., Stinnesbeck, W., Stüben, D., Berner, Z. (2001): Age, chem- and biostratigraphy of Haiti spherule-rich deposits: a multi-event K-T scenario. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 38: 197-227.
- Koerberl, C. (1993): Chicxulub crater, Yucatán: Tektites, impact glasses, and the geochemistry of target rocks and breccias. *Geology*, 21: 211-214.
- Koerberl, C., Sharpton, V.L., Schuraytz, B.C., Shirley, S.B., Blum, J.D., Marin, L.E. (1994): Evidence for a meteoric component in impact melt rock from the Chicxulub structure. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56: 2113-2129.
- Lamolda, M.A., Gorostidi, A. (1992): Nannofossil stratigraphic record in upper Maastrichtian - lowermost Danian at Zumaya (northern Spain). *Memorie di Scienze Geologiche. Univ. Padova*, 43:149-161.
- Lamolda, M.A., Gorostidi, A. (1994): Nanoflora y acontecimientos del tránsito Cretácico-Terciario. Una visión desde la región vascoantártica. *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, 7: 45-58.
- Lamolda, M.A., Aguado, R., Maurrasse, F.J.-M.R., Peryt, D. (1997): El tránsito Cretácico-Terciario en Beloc, Haiti: registro micropaleontológico e implicaciones bioestratigráficas. *Geogaceta*, 22: 97-100.
- Leroux, H., Rocchia, R., Froget, L., Orue-Etxebarria, X., Doukhan, J., Robin, E. (1995): The K/T boundary of Beloc (Haiti): Compared stratigraphic distributions of boundary markers. *Earth and planetary Science Letters*, 131: 255-268.
- Li, L., Keller, G. (1998): Diversification and extinction in Campanian-Maastrichtian planktic foraminifera of Northwestern Tunisia. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 91: 75-102.
- Lyons, J.B., Officer, C.B. (1992): Mineralogy and petrology of the Haiti Cretaceous-Tertiary section. *Earth and planetary Science Letters*, 109: 205-242.
- Mai, H.V., von Salis, K., Willems, H., Romein, T. (1997): Fossil coccospheres from the K/T boundary section from Geulhemmerberg, The Netherlands. *Marine Geology*, 36: 1-12.

- Mai, H.V., Spejer, R.P., Schulte, P. (2003): Index calcareous nannofossils (coccoliths) of the earliest Paleocene originated already in the late Maastrichtian. *Abstract book, Bioevents: their stratigraphical records, patterns and causes*, Caravaca de la Cruz, p. 119.
- Martini, E. (1971): Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. In: A. Farinacci (ed): *II Planktonic Conference*, 2: 739-785. Edizioni Tecnoscienza, Roma.
- Maurrasse, F.J.-M.R. (1982): *Survey of the Geology of Haiti: guidebook for the field excursions in Haiti*, March 3-8, 1982, Miami Geological Society.
- Maurrasse, F.J.-M.R., Sen, G. (1991): Impacts, tsunamis and the Haitian Cretaceous-Tertiary boundary layer. *Science*, 252: 1690-1693.
- Maurrasse, F.J.-M.R., Lamolda, M.A., Aguado, R., Peryt, D., Sen, G. (2003): Spatial and temporal variations of the Haitian K/T boundary record: implications concerning the event or events. *Abstract book, Bioevents: their stratigraphical records, patterns and causes*, Caravaca de la Cruz, p. 41-44.
- Maurrasse, F.J.-M.R., Pierre-Louis, F., Rigaud, J.-G. (1979/1985): Upper Cretaceous to lower Paleocene pelagic calcareous deposits in Southern Peninsula of Haiti: their bearing on the problem of the Cretaceous-Tertiary boundary. *Transactions of the Fourth Latin American Geological Conference, July 1979*, 328-337.
- Melinte, M.C., Lamolda, M.A., Kaiho, K. (2003): Nannofloral extinction and survivorship around the K/T boundary event at Caravaca, SE Spain. *Abstract book, Bioevents: their stratigraphical records, patterns and causes*, Caravaca de la Cruz, p. 45-46.
- Norris, R.D., Huber, B.T., Self-Trail, J. (1999): Synchronicity of the K-T oceanic mass extinction and meteorite impact: Blake Nose, western North Atlantic. *Geology*, 27, 419-422.
- Okada, H., Bukry, D. (1980): Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973;1975). *Marine Micropaleontology*, 5: 321-325.
- Pardo, A., Ortiz, N., Keller, G. (1996): Latest Maastrichtian foraminiferal turnover and its environmental implications at Agost, Spain. In: N. MacLeod and G. Keller (eds.): *Cretaceous-Tertiary boundary mass extinction: biotic and environmental changes.*, 139-172, Norton, New York.
- Perch-Nielsen, K. (1981): Nouvelles observations sur les nannofossiles calcaires à la limite Crétace-Tertiaire près de El Kef (Tunisie). *Cahiers de Micropaléontologie*, 3: 25-36.
- Perch-Nielsen, K. (1985a): Mesozoic calcareous nannofossils. In: H.M. Bolli, J.B. Saunders and K. Perch-Nielsen (eds.): *Plankton stratigraphy*: 329-426, Cambridge University Press, Cambridge.
- Perch-Nielsen, K. (1985b): Calcareous nannofossils at the C/T boundary near Beloc, Haiti. *INA Newsletter. Special Edition Vienna Meeting*, 7: 73-74.
- Pospichal, J.J. (1994): Calcareous nannofossils at the K-T boundary, El Kef: No evidence for stepwise, gradual, or sequential extinctions. *Geology*, 22: 99-102.
- Pospichal, J.J. (1996a): Calcareous nannoplankton mass extinction at the Cretaceous/Tertiary boundary: an update. *Geological Society of America Special Paper*, 307: 335-360.
- Pospichal, J.J. (1996b): Calcareous nannofossils and clastic sediments at the Cretaceous-Tertiary boundary, northeastern Mexico. *Geology*, 24: 255-258.
- Pospichal, J.J., Wise, S.W., Jr. (1992): Calcareous nannofossils from southern high latitude K/T boundaries. *Memorie di Scienze Geologiche*, 43: 133-147.
- Roth, P.H. (1978): Cretaceous nannoplankton biostratigraphy and oceanography of the northwestern Atlantic ocean. In: W.E. Benson, R.E. Sheridan, et al. (eds.): *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 44: 731-759. U.S. Government Printing Office, Washington.
- Sigurdsson, H., Bonté, P., Turpin, L., Chaussidon, M., Metrich, N., Steinberg, M., Pradel, P., D'Hont, S. (1991): Geochemical constraints on source region of Cretaceous/Tertiary impact glasses. *Nature*, 353: 839-842.
- Sissingh, W. (1977): Biostratigraphy of Cretaceous calcareous nannoplankton. *Geologie en Mijnbouw*, 56: 37-65.
- Tantawy, A.A.A.M. (2003): Calcareous nannofossil biostratigraphy and paleoecology of the Cretaceous-Tertiary transition in the central eastern desert of Egypt. *Marine Micropaleontology*, 47: 323-356.
- Van Fossen, M.C., Channell, J.E.T., Bralower, T.J. (1995): Geomagnetic Polarity stratigraphy and nannofossil biostratigraphy at the K/T boundary section near Beloc, Haiti. *Cretaceous Research*, 16: 131-139.
- Watkins, D.K., Crux, J.A., Pospichal, J.J., Wise, S.W., Jr. (1991): Upper Cretaceous nannofossil biostratigraphy of the Southern Ocean and its palaeobiogeographic implications. *INA Newsletter*, 13: 72-73.
- Wind, F.H. (1979): Maastrichtian-Campanian nannofloral provinces of the Southern Atlantic and Indian Oceans. In: M. Talwani et al. (eds.): *Deep Drilling Results in the Atlantic Ocean continental margins and paleoenvironment*. American Geophysical Union, H. Ewing Series, 3: 123-137.
- Worsley, T.R. (1974): The Cretaceous-Tertiary boundary event. In: W.W. Hay (ed.): *Studies in Paleooceanography*, SEPM Special Publication 20: 94-125.
- Worsley, T.R., Martini, E. (1970): Late Maastrichtian nannoplankton provinces. *Nature*, 225: 1242-1243.