



2014

Trabajo Fin de Grado en Geología

Evaluación de la influencia del vulcanismo del Decán en las asociaciones de foraminíferos planctónicos de Nye Klov (Dinamarca).



Autor: Christian García Vicente

Director: José Antonio Arz Sola

Fecha de depósito: 09/09/2014

Agradecimientos

En primer lugar agradecer a mi tutor, José Antonio Arz Sola, su interés y paciencia para que este trabajo haya podido realizarse, sin él no hubiese sido posible. También quiero agradecer al Dr. Birger Schmitz por la aportación de las muestras analizadas y a Cristina Gállego por su ayuda con las fotografías del SEM.

Esta investigación se enmarca dentro del proyecto MICINN nº CGL2011-22912: Biocronología y eventoestratigrafía del Cretácico Superior con foraminíferos, cofinanciado por los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) y del Grupo Consolidado E-05 del Gobierno de Aragón. Se agradece el uso del Servicio General de Apoyo a la Investigación-SAI, Universidad de Zaragoza.

Índice

Abstract	3
1. Introducción	3
1.1. Planteamiento e interés del tema	3
1.2. Objetivos	5
1.3. Contexto geográfico y geológico	5
2. Metodología	9
2.1. Levigado	9
2.2. Triado	10
2.3. Fotografiado de ejemplares	10
3. Resultados y discusión	11
3.1. Contenido micropaleontológico	11
3.2. Bioestratigrafía	17
3.3. Evolución paleoambiental	18
3.3.1. Distribución paleoecológica de las especies de foraminíferos planctónicos	18
3.3.2. Análisis de las abundancias relativas	20
3.3.3. Evolución paleoambiental	22
3.3.4. Extinciones previas al límite K/Pg y su relación con el vulcanismo del Decán	25
4. Conclusiones	26
5. Bibliografía	27
6. Anexos	

Abstract

In this work, seven samples rich in planktonic foraminifera of the last six meters of the Maastrichtian from the Nye Klov section (Denmark) have been studied. Poorly diversified assemblages have been identified in chalk samples, which were deposited in an inner to middle carbonate platform. The studied interval probably belongs to the uppermost Maastrichtian *Pseudoguembelina hariaensis* Zone. Planktonic foraminiferal quantitative analysis has allowed me to analyze in Nye Klov the evolution of several paleoenvironmental indices (species diversity, relative abundances, planktonic/benthic foraminifera index, *Guembelitra/Heterohelix* ratio, shallow/intermediate species ratio, etc.). This analysis has determined that the turnovers in the planktonic foraminifera assemblages were caused mainly by eustatic changes, and the main phase of the Deccan eruptions could play a secondary role.

Keywords: Planktonic foraminifera, Quantitative analysis, Maastrichtian, Denmark, volcanism, climate change

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento e interés del tema

Los foraminíferos planctónicos son microorganismos protistas marinos que habitan diferentes alturas dentro de la columna de agua. Resultan de gran utilidad en estudios bioestratigráficos, paleoecológicos y paleoceanográficos, ya que son abundantes en el registro fósil y cuentan normalmente con una amplia distribución geográfica y con una alta sensibilidad ante los cambios ambientales (Arenillas *et al.*, 2000; Molina, 2004). Por ello se utilizan a menudo para determinar las edades de las rocas sedimentarias y reconstruir características como la profundidad de la columna de agua, la temperatura de las masas de agua superficiales, la productividad, etc.

A finales del Cretácico tuvo lugar una de las tres mayores extinciones masivas del Fanerozoico, afectando a casi el 70 % de especies e incluyendo a la mayor parte de los dinosaurios, foraminíferos planctónicos, numerosos reptiles acuáticos y voladores, ammonites, belemnites y otros grupos paleontológicos menos conocidos (Schulte *et al.*, 2010). Las causas y la velocidad del evento de extinción son temas controvertidos, con

partidarios de un modelo de extinción masiva gradual (Keller, 1989) o catastrófico (Alvarez *et al.*, 1980; Smit, 1990). Estas hipótesis están basadas respectivamente en el papel jugado a finales del Cretácico por dos tipos de perturbaciones ambientales: el vulcanismo del Decán que dio lugar a los Deccan Traps en la India (Venkatesan *et al.*, 1992; Chenet *et al.*, 2007) y el impacto meteorítico de Chicxulub, Yucatán (ver reciente revisión en Schulte *et al.*, 2010).

Con respecto a los foraminíferos planctónicos, las hipótesis gradualistas sugieren la existencia de frecuentes extinciones previas al límite Cretácico/Paleógeno (límite K/Pg) en localidades del Tetis como Caravaca, Zumaia, Agost (España) o El Kef (Túnez), que fueron causadas por grandes cambios eustáticos y paleoclimáticos (Keller, 1989). En estas mismas localidades, otros autores por el contrario encuentran una gran estabilidad evolutiva a finales del Cretácico y un evento de extinción en masa catastrófica que coincide con el límite K/Pg y con el horizonte de acumulación de microtectitas, cuarzos de choque e iridio producidos por el impacto del meteorito (Smit, 1990; Molina *et al.*, 1998, Arz *et al.*, 2000).

En altas latitudes destacan las secciones de Stevns Klint y Nye Klov (Dinamarca), donde se ha propuesto un patrón de extinción gradual de las asociaciones de foraminíferos planctónicos (Keller *et al.*, 1993). Este equipo lo ha relacionado recientemente con la fase principal del vulcanismo del Decán (Pardo y Keller, 2008), un conjunto de erupciones que generaron extensas coladas basálticas en la India y la expulsión de enormes cantidad de gases de efecto invernadero y cenizas volcánicas a la atmósfera. A pesar de que este vulcanismo se inició hace unos 63.1 ± 0.3 Ma y finalizó en torno a los 67.3 ± 0.9 Ma (Courtillet *et al.*, 1988), dataciones absolutas con el método $^{40}\text{K}-^{40}\text{Ar}$ sugieren que hasta el 80% de estos basaltos pudieron haberse emitido hacia los 65 ± 0.3 Ma (Chenet *et al.*, 2007). Otros trabajos que avalan una aceleración del vulcanismo del Decán en los últimos 300.000 años del Cretácico son el Knight *et al.* (2003), que datan el comienzo de la fase principal en la parte Cretácica del magnetocron C29r, y el de Ravizza y Pucker-Ehrenbrink (2003), que relacionan esta fase con anomalías isotópicas de Osmio ($^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$) identificadas en los últimos metros del Maastrichtiense en determinados sondeos marinos.

En este trabajo se han realizado estudios micropaleontológicos en materiales carbonatados de finales del Maastrichtiense en la sección de Nye Klov, con la finalidad de comprobar si la fase principal de las erupciones del Decán provocó cambios climáticos de la suficiente entidad como para afectar cualitativa y cuantitativamente a sus asociaciones de foraminíferos planctónicos. Su interés radica en ser una de las pocas localidades conocidas en altas latitudes del hemisferio norte, donde la sedimentación a través del tránsito K/Pg es continua y en contar con un buen registro de foraminíferos bien preservados.

1.2. Objetivos

En este Trabajo Fin de Grado, se pretenden alcanzar los siguientes objetivos:

- ✓ Identificar las especies de foraminíferos planctónicos de la parte alta del Maastrichtiense en Nye Klov mediante la consulta de diversas monografías.
- ✓ Realizar una clave dicotómica que ayude en la determinación de estas especies, resaltando los caracteres más relevantes de cada una de ellas.
- ✓ Llevar a cabo un análisis bioestratigráfico de los materiales, basado en las distribuciones estratigráficas de las especies de foraminíferos planctónicos.
- ✓ Analizar los cambios en las asociaciones de foraminíferos planctónicos mediante su análisis cuantitativo, para inferir variaciones ambientales en la capa superior de la columna de agua.
- ✓ Relacionar estas señales biológicas con sus causas más probables (cambios climáticos, eustáticos, vulcanismo del Decán, etc).

1.3. Contexto geográfico y geológico

La sección de Nye Klov se localiza al norte de la península de Dinamarca (Fig.1). concretamente está situada en una cantera a 0.7 kilómetros al norte del fiordo Lønnerup en la parte norte de Jylland y a 1.8 kilómetros al sureste del pueblo de Klov (Fig. 2). Sus coordenadas geográficas son 57° 00' 38,5" N y 8° 49' 10,64" E.

Figura 1. Imagen de satélite de Dinamarca mostrando la situación de Nye Klov (tomada de http://visibleearth.nasa.gov/view_rec.php?id=1909).





Figura 2. Cantera donde aflora el tránsito Cretácico – Paleógeno en los alrededores de Nye Klov (Tomada de Sørensen, 2012).

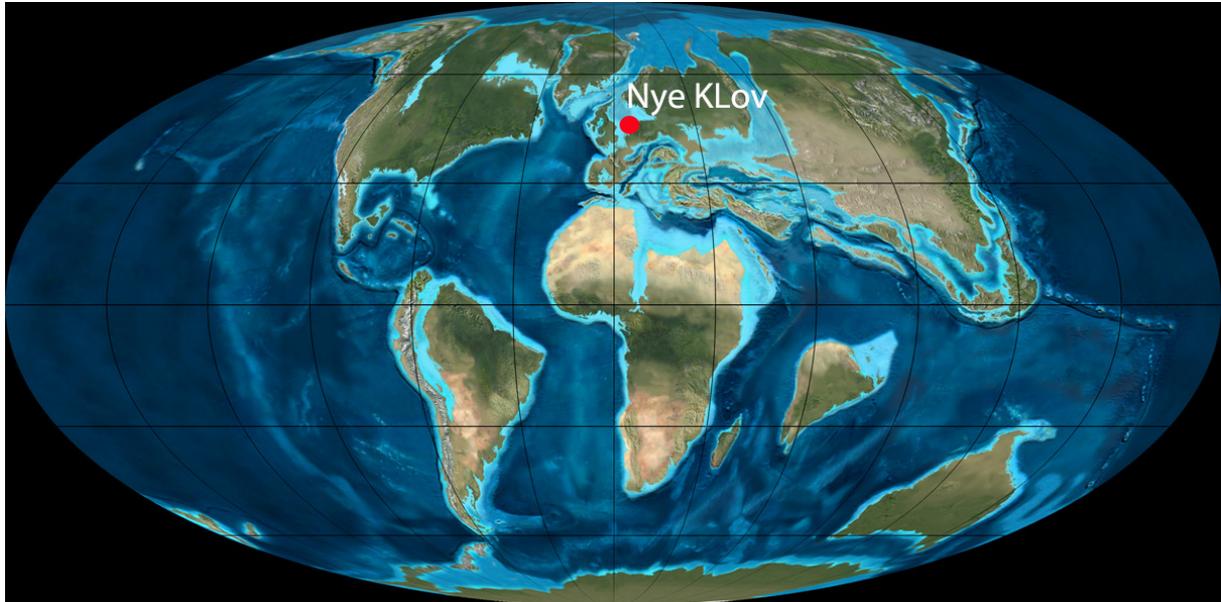


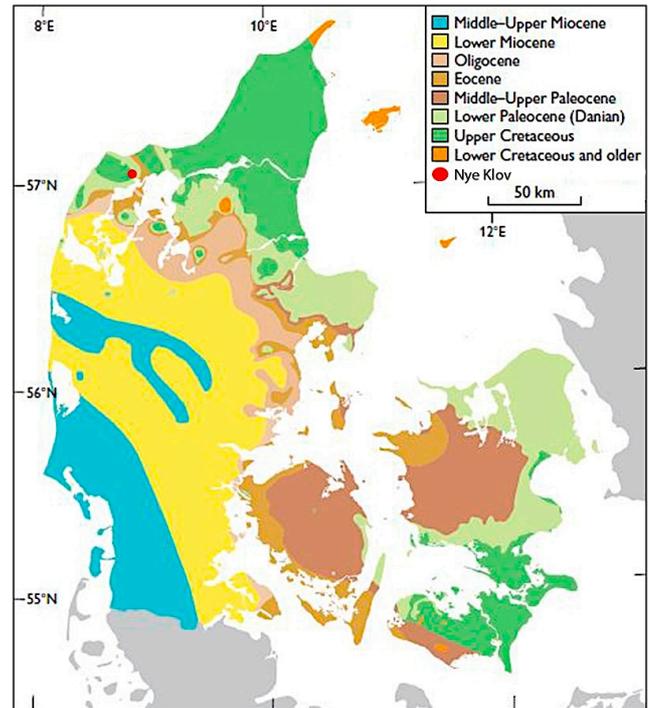
Figura 3. Distribución de los continentes y mares del Tetis occidental hace 65 millones de años. En rojo se indica la posición de Nye Klov. Modificado de <http://cpgeosystems.com/65moll.jpg>.

A finales del Maastrichtiense la cuenca danesa formaba parte de una plataforma continental sumergida (Fig. 3). Nye Klov se situaría a unos 50°N y 5° E aproximadamente, en un

ambiente de plataforma de media a interna (Pardo y Keller, 2008). Este ambiente fue favorable para la formación de carbonatos y para la proliferación de comunidades de foraminíferos planctónicos de afinidad subpolar (Arenillas *et al.*, 2000).

La sección de Nye Klov está geológicamente emplazada entre materiales del Mesozoico y del Cenozoico. Hacia el norte de la península de Jutlandia y en la isla de Bornholm se encuentran los afloramientos más antiguos del país (fundamentalmente de edad Cretácica), mientras que la parte suroeste está formada por materiales más recientes del Paleógeno y Neógeno. (Fig. 4).

Figura 4. Mapa geológico de Dinamarca. Modificado de Sorgenfrei & Berthelsen (1954) y Hakansson & Pedersen (1992).



El Cretácico Superior se caracterizó en la zona por su estabilidad tectónica, a excepción de varios pulsos compresivos que provocaron la emersión de áreas que anteriormente se encontraban sumergidas, durante una parte del Coniaciense superior y del Maastrichtiense. Las reversiones tectónicas producidas por movimientos de falla y la elevación de bloques provocaron movimientos extensos de masas de calizas, que volvieron a depositarse en la pendiente y en el borde de la cuenca (McCann, 2008). La cuenca también estuvo sujeta a movimientos halocinéticos que comenzaron durante el Triásico y continuaron durante el Cretácico Superior, con la formación de domos, crestas y diapiros (McCann, 2008).

La sección estudiada aflora en una cantera abandonada de unos 20 m de espesor y casi 40 m de longitud (Fig. 2), en la que se puede observar la transición del Cretácico al Paleógeno (Sørensen, 2012). De ellos, los 8 m inferiores pertenecen al Maastrichtiense y los 12 m restantes al Daniense. En este trabajo se han estudiado los materiales carbonatados correspondientes a los 6 últimos metros del Cretácico.

La litología es bastante monótona y está formada por estratos de calizas blancas de espesor centimétrico, con abundantes briozoos y foraminíferos planctónicos (Fig.5). Por encima de estos materiales se encuentra el límite K/Pg, situado en la base de una arcilla gris de 3 cm de espesor, que presenta un nivel rojizo con goethita y hematites y donde se ha detectado una anomalía de Iridio de 1.6 ppb (Hansen et al., 1986).

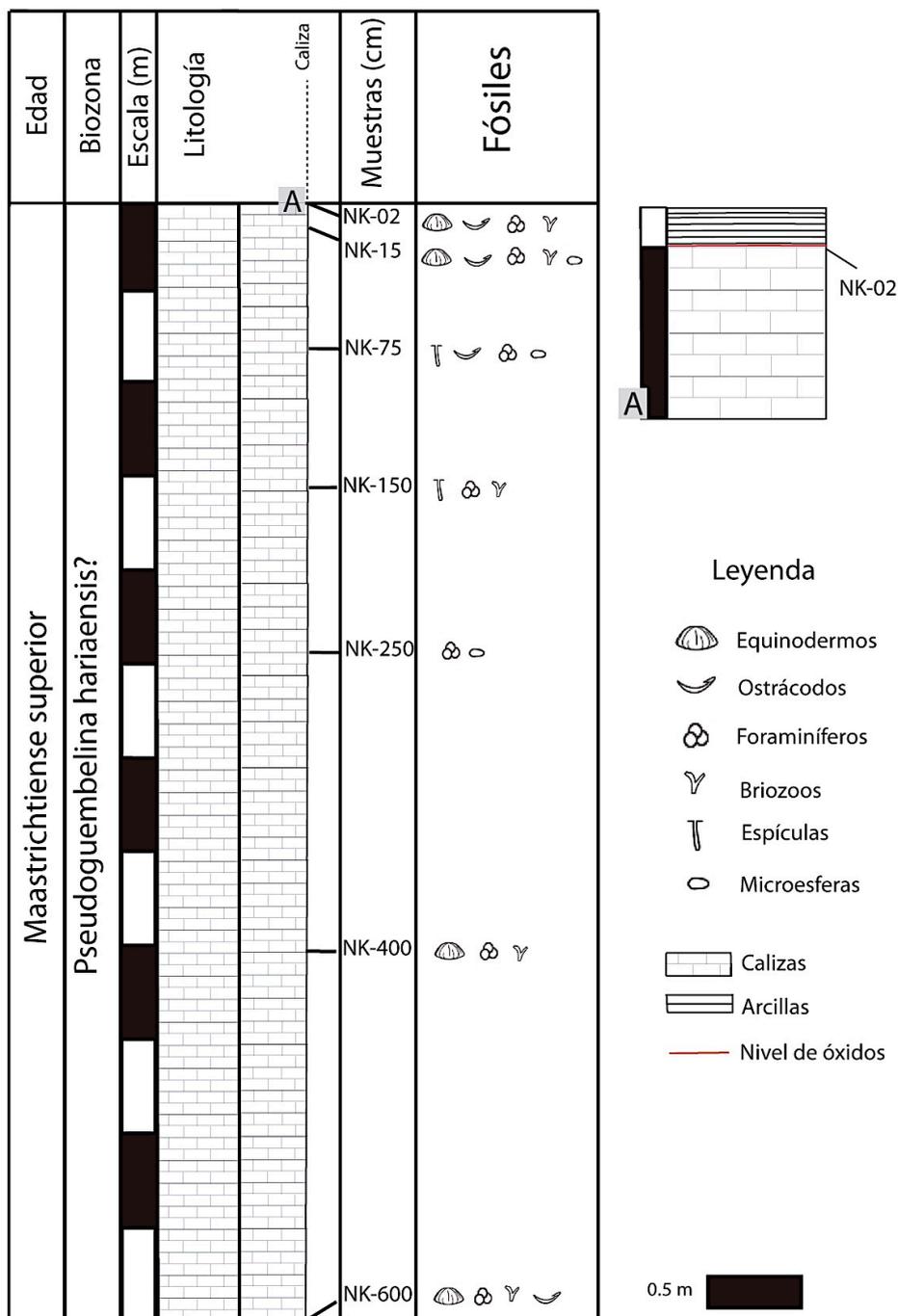


Figura 5. Columna estratigráfica del Maastrichtiense terminal de Nye Klov (Dinamarca).

2. METODOLOGÍA

En el siguiente trabajo se han estudiado desde el punto de vista micropaleontológico 7 muestras de rocas carbonatadas procedentes de la sección de Nye Klov, que fueron proporcionadas por el Dr. Birger Schmitz (Universidad de Lund, Suecia). Las muestras han sido tratadas en el laboratorio mediante la técnica del levigado y posteriormente mediante el triado se han extraído los microfósiles para su posterior clasificación y análisis cuantitativo. Como todo estudio científico precisa, a lo largo de todo el proceso, se ha consultado bibliografía especializada para la clasificación de las diversas especies de foraminíferos planctónicos y para la discusión de los resultados obtenidos.

Las principales técnicas empleadas son las siguientes:

2.1. Levigado

Su objetivo es la separación y concentración de microfósiles. Para ello, cada una de las muestras se ha procesado en el laboratorio de Micropaleontología del Departamento de Ciencias de la Tierra, siguiendo varias etapas:

-Fragmentación de unos 150 gramos de roca con la ayuda de un pequeño mortero de metal, dejando los restos a un tamaño menor a 1 cm.

-Disgregación de los restos en un recipiente de plástico, cubriéndolos con agua oxigenada al 15% - 20% de concentración y dejando reposar la mezcla durante dos o tres horas bajo la campana extractora de gases del laboratorio.

-Lavado del sedimento a través de una serie de tamices ordenados en orden decreciente de tamaño de luz de malla de 1 mm , 100 μ m y 63 μ m. Tras el lavado es importante limpiar bien los tamices para evitar la contaminación de ejemplares durante el tratamiento posterior de otras muestras. Para una mayor seguridad, tras la limpieza con agua a presión y cepillo, los tamices se introducen en una solución concentrada de azul de metileno y se dejan secar. De este modo, los ejemplares de foraminíferos que puedan haber quedado incrustados entre los hilos se tiñen permanentemente de azul, resultando fácil su identificación y desestimación durante el estudio de las muestras (Molina, 2004).

-Secado del sedimento recogido en cada tamiz dentro de un horno a temperatura inferior a 50°C. En nuestro caso se ha realizado el estudio de los microfósiles en el residuo comprendido entre las fracciones de 63 y 1000 µm, donde los foraminíferos planctónicos son abundantes. Para ello, tras su secado, se mezclaron estas fracciones y se recogieron en pequeños recipientes de plástico que fueron siglados con el número de la muestra y la fracción correspondiente.

2.2. Triado

La siguiente etapa implica el triado de microfósiles a partir de una muestra representativa obtenida mediante el uso de un microcuarteador de tipo Otto. Ésta se dispone regularmente en una pequeña bandeja de color negro con el fondo cuadrulado. Bajo la lupa binocular se va desplazando la bandeja cuadro a cuadro, extrayendo los fósiles según se van hallando, hasta obtener un número de ejemplares representativo de la asociación. Los fósiles se extraen mediante un pincel fino humedecido en agua y se colocan en una celdilla de cartón con 60 divisiones en su interior, en la que hemos aplicado anteriormente una capa de pegamento tragacanto para que los microfósiles queden fijados.

Siguiendo la rutina del análisis cuantitativo de microfósiles (Molina 2004), se han clasificado aproximadamente unos 300 ejemplares de foraminíferos planctónicos por muestra. Además, se ha buscado en algunos casos en el resto del residuo, para identificar la presencia de especies poco frecuentes. También se ha calculado el porcentaje entre foraminíferos planctónicos y bentónicos, a partir de la extracción aleatoria de los primeros 100 ejemplares de foraminíferos de cada muestra.

2.3. Fotografiado de ejemplares

Con la finalidad de mostrar aspectos taxonómicos y de la conservación de las conchas de los foraminíferos planctónicos, se llevaron a cabo tres sesiones de fotografiado de ejemplares seleccionados con el Microscopio Electrónico de Barrido de emisión de campo, alojado en el edificio Torres Quevedo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Zaragoza. Para el tratamiento digital de las fotografías, se ha usado el programa Adobe Photoshop CS5 y las Figuras 7 y 8 han sido elaboradas mediante el Adobe Illustrator CS5. Para la elaboración de la memoria se ha utilizado el programa Microsoft Word 2010 y las tablas gracias al Microsoft Excel 2010.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Contenido micropaleontológico

Las muestras estudiadas presentan por lo general una cantidad apreciable foraminíferos planctónicos y bentónicos. El grado de preservación de las conchas es de bueno a muy bueno, ya que apenas se encuentran foraminíferos fragmentados, se han conservado los detalles de la ornamentación superficial de las paredes y en muchos casos las conchas permanecen huecas (como puede observarse por ejemplo en las Figs. 8.15 y 8.31).

Los foraminíferos planctónicos se han clasificado a nivel específico, consultando para ello las monografías y trabajos siguientes: Smith y Pessagno (1973), Robaszynski *et al.* (1984), Caron (1985), Nederbragt (1991), Arz *et al.* (2010) y Pérez-Rodríguez (2013). Dada la extensión limitada de esta memoria, se ha optado por no incluir un capítulo dedicado a la descripción taxonómica de las 31 especies cuya presencia ha sido reconocida en Nye Klov. En su lugar, se ha realizado una clave dicotómica (Fig. 6), en la que se clasifican las diferentes especies atendiendo a las características consideradas como más importantes, partiendo de características más generales hasta llegar a otras más concretas.

Las asociaciones de foraminíferos planctónicos del tránsito K - Pg de la sección de Nye Klov han sido estudiadas previamente por (Keller *et al.*, 1993). En cuanto al contenido micropaleontológico de los últimos 6 metros del Maastrichtiense, en este Trabajo Fin de Grado se han encontrado algunas diferencias, a pesar de haber empleado una metodología similar. Unas responden a cuestiones taxonómicas, por ejemplo aquí se ha preferido el uso de la denominación *Globigerinelloides prairiehillensis* frente a *Globigerinelloides aspera*; de *Guembelitra dammula* frente a *Guembelitra danica*, de *Planoglobulina acervulinoides* frente a *Planoglobulina brazoensis* o de *Heterohelix planata* frente a *Heterohelix complanata*, siguiendo las ideas de Pérez-Rodríguez (2013), que considera a las segundas como sinónimos de las primeras.

Otras diferencias se refieren a la mayor diversidad encontrada (19 frente a 31 especies). En este trabajo se ha reconocido por vez primera en Nye Klov la presencia de diversas especies, entre las que cabe destacar *Heterohelix labellosa* (Figs. 7.9-10), *Pseudotextularia elegans* (Figs. 7.17-18), *Pseudotextularia intermedia* (Figs. 7.19-20), *Pseudoguembelina hariaensis* (Figs. 8.1-2), *Racemiguembelina powelli* (Figs. 8.3-4), *Globigerinelloides volutus* (Figs. 8.9-10) o *Rugoglobigerina tradinghousensis* (Figs. 8.29-31). En este último caso, es posible que Keller *et al.* (1993) hayan incluido estos morfotipos dentro de la especie *Rugoglobigerina rugosa*.

Concretamente, el contenido micropaleontológico identificado en cada muestra es el siguiente (Anexo 1):

NK – 600: Muestra tomada a 600 cm por debajo del límite K/Pg, en la que podemos observar numerosos invertebrados marinos como briozoos, ostrácodos, fragmentos de radiolas de equinodermos y foraminíferos bentónicos y planctónicos. El estudio cuantitativo se ha realizado a partir de 308 ejemplares de foraminíferos planctónicos en los que se han reconocido las especies: *Heterohelix globulosa*, *Htx. labellosa*, *Htx. navarroensis*, *Htx. punctulata*, *Globigerinelloides prairiehillensis*, *Gdes. volutus*, *Gdes. yaucoensis*, *Pseudotextularia elegans*, *Ptx. nutalli*, *Guembelitria cretacea*, *Gb. dammula*, *Hedbergella planispira*, *Hdb. monmouthensis* y *Hdb. holmdelensis*.

NK – 400: Muestra tomada a 400 cm por debajo del límite K/Pg, presenta invertebrados marinos como briozoos, fragmentos de radiolas y mamelones de equinodermos y foraminíferos bentónicos y planctónicos. Se han recogido 316 ejemplares de foraminíferos planctónicos en los que se han determinado las especies: *Htx. globulosa*, *Htx. labellosa*, *Htx. navarroensis*, *Htx. punctulata*, *Htx. planata*, *Gdes. prairiehillensis*, *Gdes. volutus*, *Gdes. yaucoensis*, *Ptx. elegans*, *Gb. cretacea*, *Gb. dammula*, *Hdb. planispira*, *Hdb. monmouthensis* y *Hdb. holmdelensis*.

NK – 250: Muestra tomada a 250 cm por debajo del límite K/Pg, se observan numerosas microesferas calcíticas y foraminíferos bentónicos y planctónicos. Los análisis se han llevado a cabo a partir de la recogida de 289 ejemplares de foraminíferos planctónicos en los que se han clasificado las especies: *Htx. globulosa*, *Htx. labellosa*, *Htx. navarroensis*, *Htx. punctulata*, *Gdes. prairiehillensis*, *Gdes. volutus*, *Gdes. yaucoensis*, *Ptx. elegans*, *Ptx. intermedia*, *Racemiguembellina powelli*, *Gb. cretacea*, *Gb. dammula*, *Hdb. planispira*, *Hdb. holmdelensis*, *Planoglobulina acervulinoides*, *Plg. carseyae* y *Globotruncanella havanensis*.

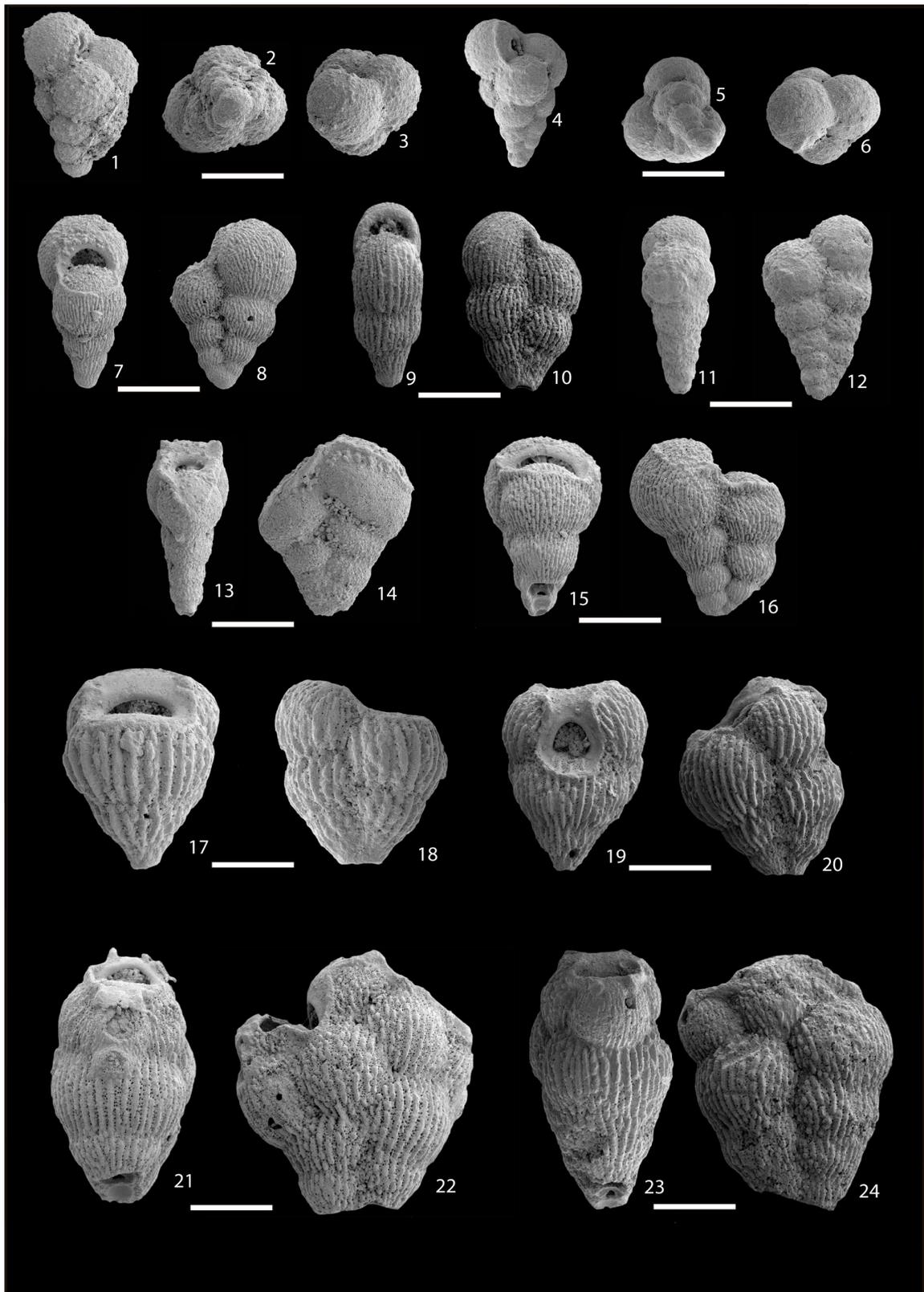


Figura 7. Especies identificadas en el Maastrichtiense superior de Nye Klov (Escala = 100µm). 1-3 *Guembelitra cretacea*; 4-6 *Guembelitra dammula*; 7-8 *Heterohelix globulosa*; 9-10 *Heterohelix labellosa*; 11-12 *Heterohelix navarroensis*; 13-14 *Heterohelix planata*; 15-16 *Heterohelix punctulata*; 7-18 *Pseudotextularia elegans*; 19-20 *Pseudotextularia intermedia*; 21-22 *Planoglogulina acervulinoides*; 23-24 *Planoglobulina carseyae*.

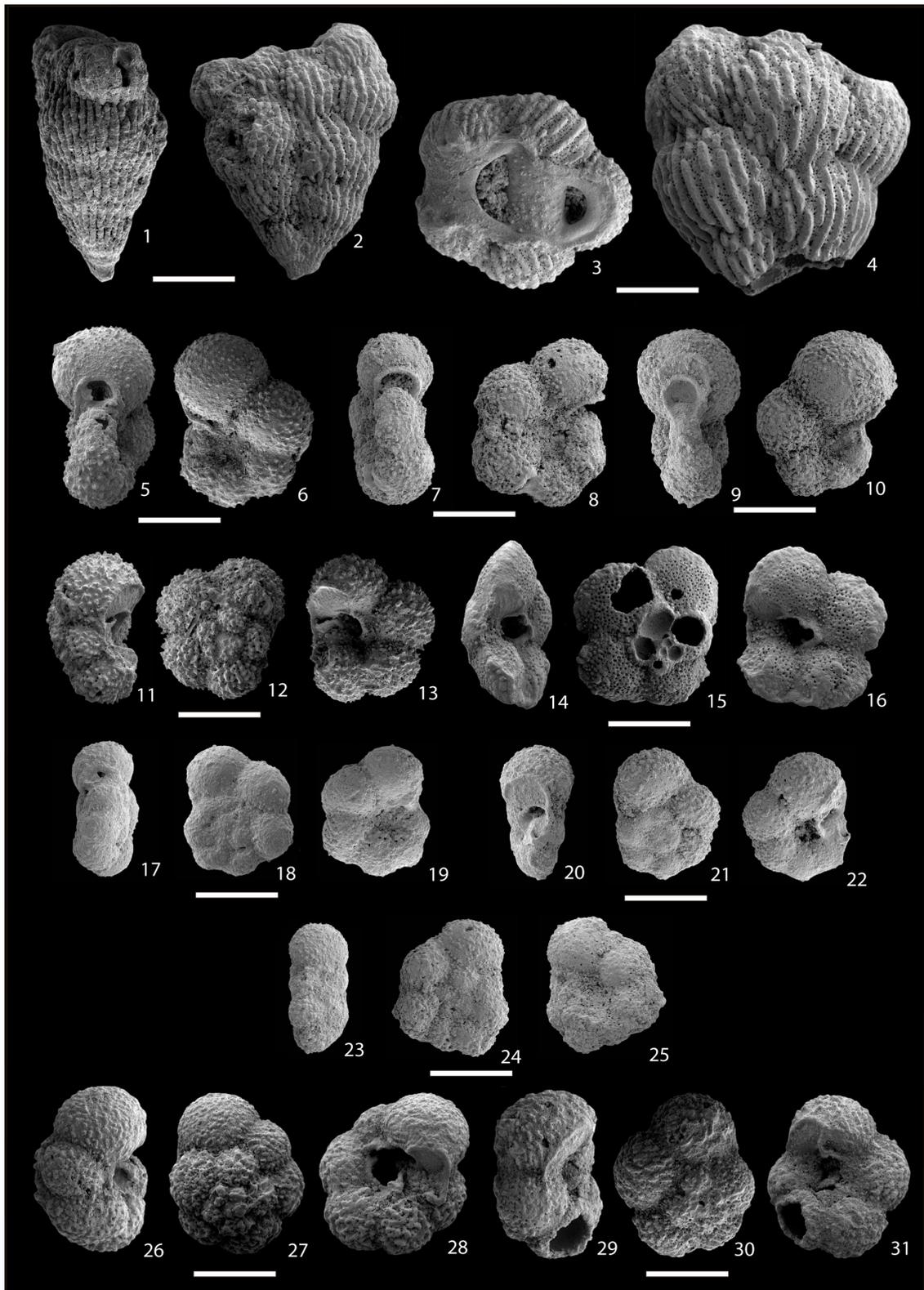


Figura 8. Especies identificadas en el Maastrichtiense superior de Nye Klov (Escala =100µm). 1-2 *Pseudoguembelina hariaensis*; 3-4 *Racemiguembellina powelli*; 5-6 *Globigerinelloides prairiehillensis*; 7-8 *Globigerinelloides yaucoensis*; 9-10 *Globigerinelloides volutus*; 11-13 *Globotruncanella minuta*; 14-16 *Globotruncanella pschadae*; 17-19 *Hedbergella holmdelensis*; 20-22 *Hedbergella monmouthensis*; 23-25 *Hedbergella planispira*; 26-28 *Rugoglobigerina milamensis*; 29-31 *Rugoglobigerina tradinghousensis*.

NK – 150: Muestra tomada a 150 cm bajo el límite K/Pg, el contenido micropaleontológico se caracteriza por la presencia de briozoos, ostrácodos, fragmentos de radiolas de equinodermos y foraminíferos bentónicos y planctónicos. De estos últimos se han clasificado 313 ejemplares pertenecientes a las especies: *Htx. globulosa*, *Htx. labellosa*, *Htx. navarroensis*, *Gdes. prairiehillensis*, *Gdes. volutus*, *Gdes. yaucoensis*, *Ptx. elegans*, *Ptx. intermedia*, *Ptx. nutalli*, *Gb. cretacea*, *Gb. dammula*, *Gb. blowi*, *Hdb. planispira*, *Hdb. holmdelensis*, *Plg. carseyae* y *Plg. acervulinoides*.

NK – 75: Muestra tomada a 75 cm por debajo del límite K/Pg, presenta microesferas calcíticas, ostrácodos, fragmentos de radiolas de equinodermos y foraminíferos bentónicos y planctónicos. El estudio se ha realizado a partir de 307 ejemplares de foraminíferos planctónicos sobre los que se han determinado las especies: *Htx. globulosa*, *Htx. labellosa*, *Htx. navarroensis*, *Gdes. prairiehillensis*, *Gdes. volutus*, *Gdes. yaucoensis*, *Ptx. elegans*, *Gb. cretacea*, *Gb. dammula*, *Gb. blowi*, *Hdb. holmdelensis*, *Hdb. monmouthensis*, *Plg. acervulinoides*, *Plg. carseyae* y *Globotruncanella pschadae*.

NK – 15: Muestra tomada a 15 cm por debajo del límite K/Pg, se observan numerosas microesferas calcíticas, briozoos, ostrácodos, fragmentos de radiolas de equinodermos y foraminíferos bentónicos y planctónicos. El estudio se ha realizado a partir de 307 ejemplares de foraminíferos planctónicos entre los que se han identificado: *Htx. globulosa*, *Htx. labellosa*, *Htx. navarroensis*, *Gdes. prairiehillensis*, *Gides. volutus*, *Gides. yaucoensis*, *Ptx. elegans*, *Gb. cretacea*, *Gb. dammula*, *Gb. blowi*, *Hdb. monmouthensis*, *Hdb. holmdelensis*, *Plg. acervulinoides*, *Plg. carseyae*, *Rugoglobigerina tradinghousesensis*, *Rgb. rugosa*, *Rgb. milamensis*, *Archaeoglobigerina blowi* y *Arch. cretacea*.

NK – 02: Muestra tomada en los últimos 2 cm por debajo del límite K/Pg, el contenido micropaleontológico está formado por briozoos, ostrácodos, fragmentos de radiolas de equinodermos y foraminíferos bentónicos y planctónicos. Se han estudiado 311 ejemplares de foraminíferos planctónicos en los que encontramos: *Htx. globulosa*, *Htx. labellosa*, *Gdes. prairiehillensis*, *Gdes. volutus*, *Gdes. yaucoensis*, *Ptx. elegans*, *Gb. cretacea*, *Gb. dammula*, *Plg. acervulinoides*, *Plg. carseyae*, *Rgb. tradinghousesensis*, *Rgb. rugosa*, *Rgb. milamensis*,

Rgb. macrocephala, *Rgb. hexacamerata*, *Arch. blowi*, *Arch. cretacea*, *Globotruncanella minuta* y *Pseudoguembelina hariaensis*.

3.2. Bioestratigrafía

La bioestratigrafía del presente estudio se ha basado en la zonación y distribuciones estratigráficas propuestas recientemente por Pérez-Rodríguez *et al.* (2012), en el Maastrichtiense de la sección costera de Zumaia (Guipúzcoa). El interés de utilizar esta propuesta es que Zumaia posee una cierta influencia de aguas frías del atlántico Norte, por lo que sus asociaciones de foraminíferos planctónicos presentan cierta afinidad con las de Nye Klov. Concretamente, al igual que sucede con la sección danesa, en Zumaia no hay registro de algunas especies que sí aparecen comúnmente en otros perfiles del tránsito K/Pg de aguas más cálidas como los de Agost o Caravaca, en las Cordilleras Béticas, o El Kef en Túnez. Entre todas, destaca la ausencia en ambos perfiles del indicador de los últimos 300.000 años del Cretácico: la especie de foraminífero planctónico *Plummerita hantkeninoides*, típico habitante de aguas de mar abierto cálidas (Molina *et al.*, 1998; Smit, 1999; Boudagher-Fadel, 2013).

Por esta razón, Pérez-Rodríguez *et al.* (2012) propusieron extender la Biozona de *Pseudoguembelina hariaensis* hasta el límite K/Pg, en zonas donde *Plummerita hantkeninoides* se encuentra ausente, caracterizando así la parte más alta del Maastrichtiense. Así definida, la biozona de *Pseudoguembelina hariaensis* es una Zona de Extensión Total que abarca desde los datos de primer registro de la especie hasta su última aparición (Nederbragt, 1990). Su base ha sido calibrada en los 67,3 Ma y su techo en los 66,04 Ma (Grandstein *et al.*, 2012), coincidiendo con el límite K/Pg. Según Pérez-Rodríguez *et al.* (2012), en Zumaia esta biozona alcanza una potencia de 17,23 m.

Debido a la escasa profundidad que alcanzó la plataforma carbonatada en Nye Klov, en nuestro trabajo se ha reconocido la presencia de este indicador zonal tan sólo en los últimos 2 cm del Maastrichtiense, por lo que la biozona de *Pseudoguembelina hariaensis* ha sido marcada en las figuras con un interrogante. Sin embargo, la aparente ausencia de hiatos en el Maastrichtiense de Nye Klov (Keller *et al.*, 1993) y la compatibilidad de las asociaciones identificadas en este trabajo con una edad Cretácico terminal, permiten afirmar que el registro del material es continuo y que hay altas posibilidades que los seis metros de serie estudiados pertenezcan en su totalidad a dicha biozona en el sentido dado por Pérez-Rodríguez *et al.* (2012).

Otra cuestión es si los materiales del Maastrichtiense terminal de Nye Klov se depositaron cuando estaba teniendo lugar la fase principal de erupciones volcánicas del Decán. Este intervalo temporal, que abarca aproximadamente los últimos 300.000 años del Cretácico, coincide con la duración de la Zona de Extensión Total de *Plummerita hantkeninoides* (Pardo y Keller, 2008). En este estudio se ha tratado de comparar el espesor de dicha zona en dos localidades representativas del tránsito Cretácico – Terciario (Caravaca y Sopelana) de ambientes de talud continental, donde los materiales de la Biozona de *Plummerita hantkeninoides* tienen un espesor de 3,6 y 4,5 m respectivamente (Molina *et al.*, 1998; Batenburg *et al.*, 2012). Teniendo en cuenta la duración de esta zona, es posible calcular la tasa de sedimentación media por cada mil años para estos materiales, dando un resultado de 1,2 cm/1000 años en Caravaca y 1,5 cm/1000 años en Sopelana. Si aplicamos la tasa de sedimentación más alta a Nye Klov, los 6 m de estudiados se habrían depositado en los últimos 400.000 años del Maastrichtiense, indicando que resultan idóneos para estudiar la posible influencia de la fase principal del Decán sobre las asociaciones de foraminíferos. Estos cálculos son conservadores, en el sentido de que la tasa de sedimentación media de la sección danesa seguramente es significativamente menor que la de las secciones españolas utilizadas en la comparación, al tratarse de sedimentos neríticos. Por ello, se estima que el intervalo de tiempo representado en los materiales estudiados en este trabajo puede superar incluso el medio millón de años.

3.3 Evolución paleoambiental

3.3.1. Distribución paleoecológica de las especies de foraminíferos planctónicos

En la actualidad en altas latitudes la capa de mezcla (masa de agua oceánica superficial) disminuye su espesor y la termoclina está poco marcada, lo que se traduce en la existencia de menos nichos ecológicos disponibles para los foraminíferos planctónicos y en la disminución de su diversidad con respecto a latitudes medias y bajas (Hemleben *et al.*, 1989). En la parte alta del Maastrichtiense de Nye Klov este efecto, junto con la profundidad reducida en este punto de la cuenca, provocan la ausencia de géneros completos de foraminíferos planctónicos que están presentes en otras latitudes, como es el caso de *Plummerita*, *Globotruncana*, *Globotruncanita*, *Contusotruncana* o *Abathomphalus* (Tabla 1). Esta tabla relaciona la distribución del hábitat de los foraminíferos planctónicos de finales del Maastrichtiense con la profundidad estimada que necesitaban para completar su ciclo vital y con la disponibilidad de nutrientes. Se ha construido a partir de los datos de Boudagher-Fadel (2013), que interpreta el hábitat de las especies de foraminíferos planctónicos dentro

de la plataforma continental según la forma y la complejidad de sus conchas. De este modo, muchas especies de conchas pequeñas y sencillas predominan en ambientes ricos en nutrientes (eutróficos) en las capas más superficiales del océano, mientras que conchas cada vez más grandes, complejas y ornamentadas estarían relacionadas con hábitat más profundos donde la disponibilidad de nutrientes por lo general disminuye.

Superficial (Eutrófico)	Intermedio (Mesotrófico)	Profundo (Oligotrófico)
Hedbergella holmdelensis **	Planoglobulina acervulinoides **	Plummerita ****
Hedbergella monmouthensis **	Planoglobulina carseyae **	Contusotruncana ****
Hedbergella planispira **	Pseudoguembelina hariaensis **	Globotruncanita ****
Heterohelix planata *	Racemiguembellina powelli *	Abathomphalus ****
Heterohelix globulosa *	Globotruncanella havanensis **	Kassablana ****
Heterohelix labellosa *	Globotruncanella pschadae **	
Heterohelix navarroensis *	Globotruncanella minuta **	
Heterohelix punctulata *	Pseudotextularia elegans *	
Guembelitra blowi *	Pseudotextularia intermedia *	
Guembelitra cretacea *	Pseudotextularia nutalli *	
Guembelitra dammula *		
Globigerinelloides prairiehillensis **		
Globigerinelloides volutus **		
Globigerinelloides yaucoensis **		
Archaeoglobigerina blowi ***		
Archaeoglobigerina cretacea ***		
Rugoglobigerina hexacamerata ***		
Rugoglobigerina macrocephala ***		
Rugoglobigerina tradinghousesensis ***		
Rugoglobigerina rugosa ***		
Rugoglobigerina milamensis ***		

Tabla 1. Distribución paleoecológica de las especies de foraminíferos planctónicos del Maastrichtiense, en función de la profundidad y la disponibilidad de nutrientes: * Parte interna de la plataforma; ** Parte media de la plataforma; *** Parte externa de la plataforma; **** Géneros ausentes en Nye Klov (basado en Boudagher-Fadel, 2013).

Desde el punto de vista ecológico, los foraminíferos planctónicos del Cretácico Superior también se pueden dividir en base a su estrategia reproductora, según los tipos básicos de estrategias de tipo r, K e intermedios (Petruzzo, 2002). Los primeros son organismos que pueden vivir en condiciones ambientales variables, tienen un ciclo de vida corto y una alta tasa reproductiva y son típicos de ambientes mesotróficos y/o eutróficos. Por el contrario, los estrategias K, se especializan en fuentes de comida más específicas, habitan nichos ecológicos más estrechos, tienen una baja tasa reproductiva y son típicos de ambientes con baja concentración de nutrientes (oligotróficos). Entre ambos se sitúan los estrategias intermedios que tienen características intermedias entre r y K y abundan en ambientes mesotróficos. La Tabla 2 recoge la división de los foraminíferos planctónicos del Maastrichtiense según su estrategia reproductora siguiendo las propuestas de Petruzzo (2002). En Nye Klov se pueden encontrar estrategias r e intermedios, estando ausentes los

estrategas K, debido probablemente a no encontrar nichos apropiados para su supervivencia.

Estrategas r	Estrategas Intermedios	Estrategas K
Hedbergella holmdelensis	Archaeoglobigerina blowi	Contusotruncana *
Hedbergella monmouthensis	Archaeoglobigerina cretacea	Dicanrinella *
Hedbergella planispira	Planoglobulina acervulinoides	Globotruncana *
Heterohelix planata	Planoglobulina carseyae	Globotruncanita *
Heterohelix globulosa	Pseudoguembelina hariaensis	Marginotruncana *
Heterohelix labellosa	Rugoglobigerina hexacamerata	Radotruncana *
Heterohelix navarroensis	Rugoglobigerina macrocephala	Gansserina *
Heterohelix punctulata	Rugoglobigerina tradinghousensis	
Guembelitra blowi	Rugoglobigerina rugosa	
Guembelitra cretacea	Rugoglobigerina milamensis	
Guembelitra dammula	Racemiguembellina powelli	
Globigerinelloides prairiehillensis		
Globigerinelloides volutus		
Globigerinelloides yaucoensis		
Pseudotextularia elegans		
Pseudotextularia intermedia		
Pseudotextularia nutalli		
Globotruncanella havanensis		
Globotruncanella pschadae		
Globotruncanella minuta		

Tabla 2. Distribución paleoecológica de las especies de foraminíferos planctónicos del Maastrichtiense, según su estrategia reproductora (* géneros ausentes en Nye Klov). Basado en Petrizzo (2002).

3.3.2. Análisis de las abundancias relativas

El análisis cuantitativo de las muestras ha permitido evaluar detalladamente los cambios en las asociaciones de foraminíferos planctónicos (Anexo 1). La especie dominante es *Heterohelix globulosa*, superando en ocasiones el 50% de la asociación. Otras especies frecuentes son *Globigerinelloides prairiehillensis* y localmente *Guembelitra dammula* y *Rugoglobigerina tradinghousensis* (Fig. 9). El género dominante en Nye Klov es *Heterohelix*, con un 51,5% de abundancia relativa. Otros géneros comunes son *Globigerinelloides* y *Rugoglobigerina*, con una abundancia de 20 y 11% respectivamente. Entre el 5 y el 10% nos encontramos con los géneros *Guembelitra* y *Hedbergella*, mientras que *Archaeoglobigerina*, *Planoglobulina* y *Pseudotextularia* presentan una baja abundancia que oscila entre el 1 y el 5%. Los géneros que cuentan con una presencia esporádica y frecuencias <1% son *Globotruncanella*, *Racemiguembellina* y *Pseudoguembelina* (Anexo 2). Las asociaciones de foraminíferos planctónicos permanecen desde el punto de vista cuantitativo bastante estables a lo largo del intervalo estudiado.

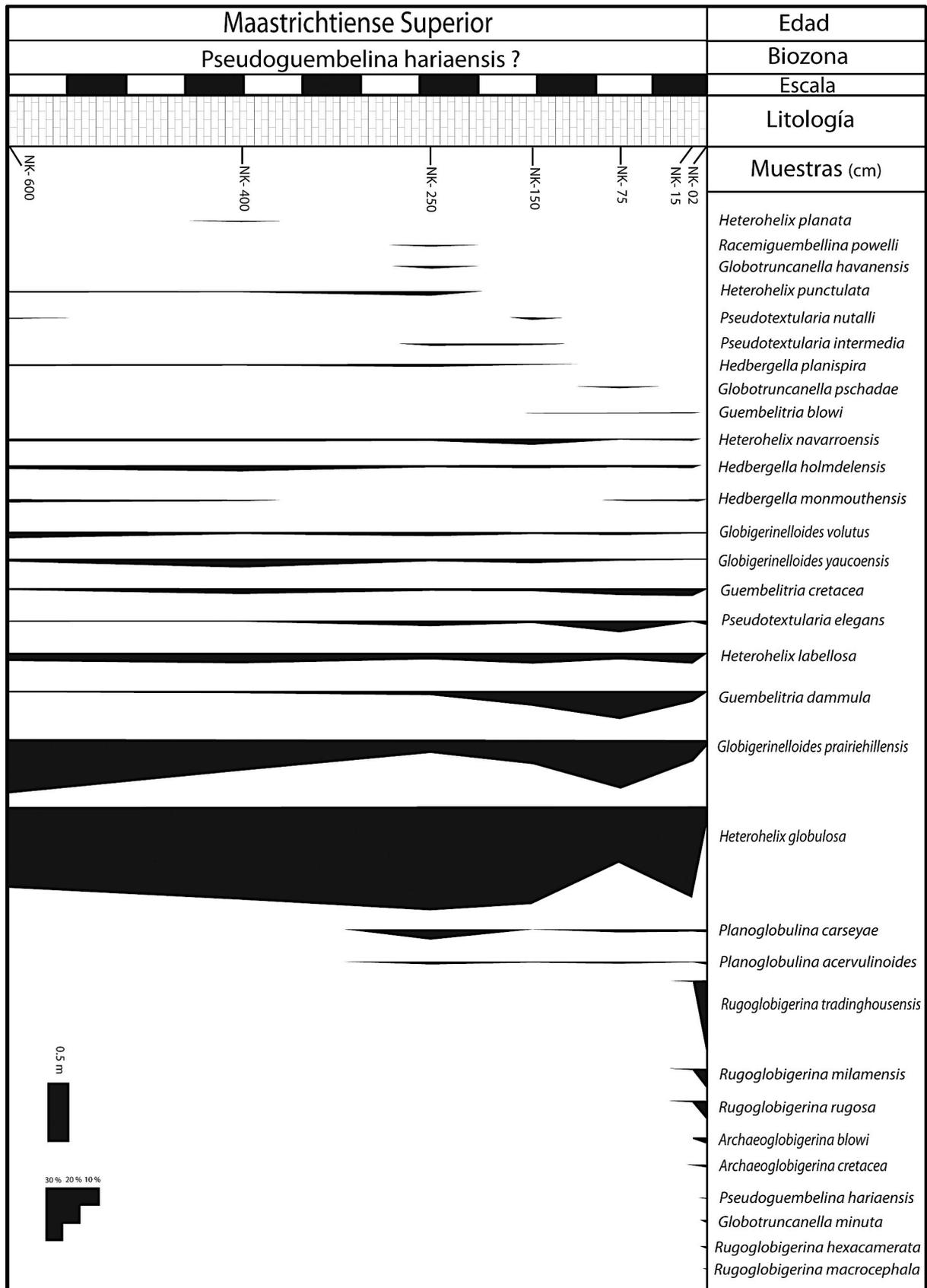


Figura 9. Frecuencia de las especies de foraminíferos planctónicos en la fracción mayor de 63 µm.

A pesar de esta estabilidad, se han identificado ciertos acmés o aumentos súbitos en la frecuencia de determinadas especies (Fig. 9). Entre ellos, hay dos especialmente interesantes por sus implicaciones paleoecológicas. El primero tiene su máxima expresión en la muestra NK-75 en la que hay un notable aumento de las especies *Guembelitra dammula* y *Globigerinelloides prairiehillensis*. El segundo está en relación con los últimos 15 centímetros estudiados, un intervalo en el que aparecen por vez primera numerosas especies y una de ellas: *Rugoglobigerina tradinghousensis*, llega a alcanzar el 46% de frecuencia en la muestra NK-02.

3.3.3. Evolución paleoambiental

Para la interpretación paleoambiental se han utilizado diversos índices ecológicos (Anexo 3) cuya evolución se muestra en la Fig. 10.

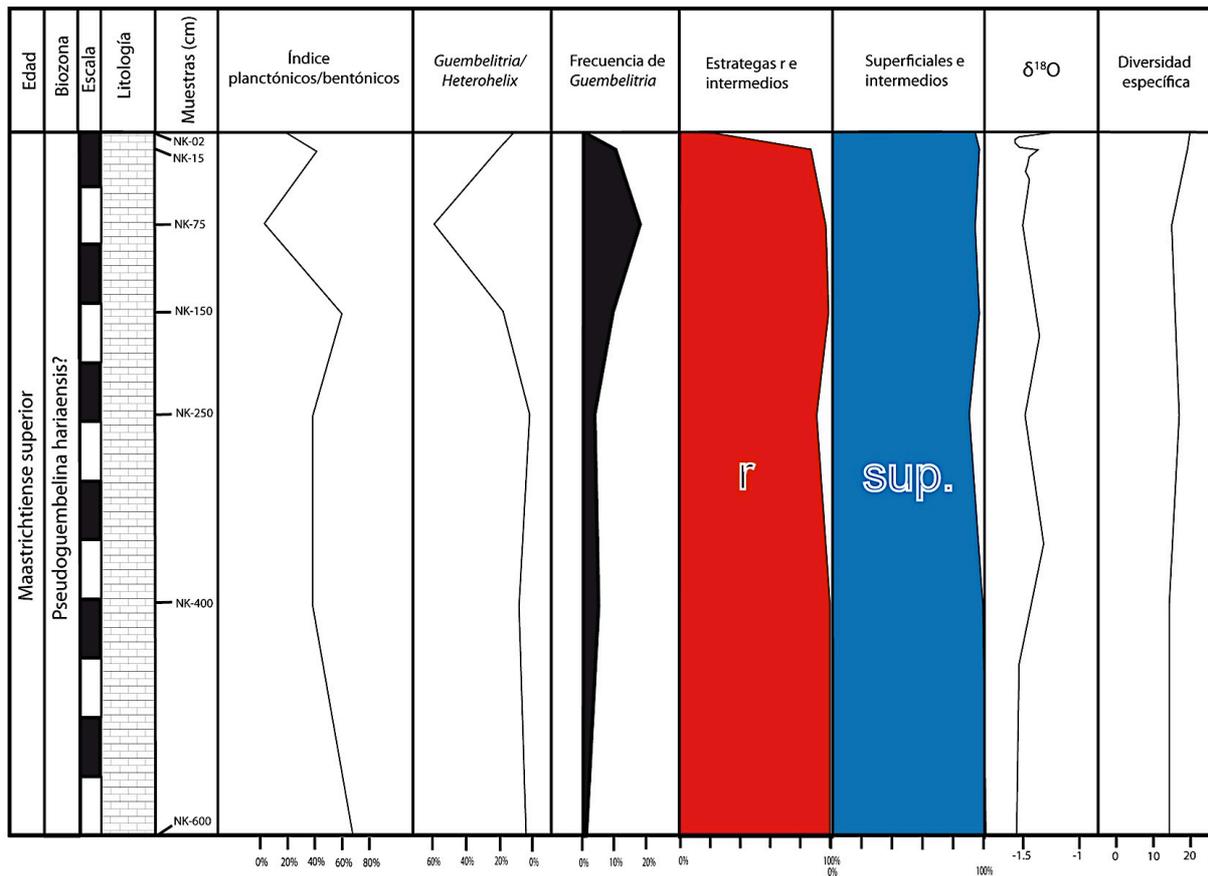


Figura 10. Evolución de los índices con significado paleoambiental. Los datos del $\delta^{18}O$ se midieron sobre conchas de la especie *Heterohelix globulosa* y han sido tomados de Keller *et al.* (1993).

El primero de ellos, es el índice que mide la proporción entre la cantidad de foraminíferos planctónicos y bentónicos en cada muestra (índice planctónicos/bentónicos o FP/FB), expresado como $FP/FP + PB \times 100$. Este índice se utiliza frecuentemente para estimar a grandes rasgos la cercanía o lejanía de un punto con la línea de costa y se relaciona con la paleobatimetría de un depósito. Murray (1991) determinó que valores $< 20\%$ indican un depósito en la parte interna de la plataforma continental; valores comprendidos entre 10 y 60% se alcanzan en la parte media; entre 40 y el 70% son frecuentes en la parte externa de la plataforma; valores $> 70\%$ son típicos de materiales depositados en el talud continental, y finalmente en las llanuras abisales por encima del nivel de compensación de la calcita llega a alcanzarse el 99%.

En Nye Klov el índice FP/FB oscila ampliamente entre el 67% en la muestra NK-600 y el 4% en la muestra NK-75. De su evolución (Fig. 10), puede deducirse que, a grandes rasgos, los 4,5 m basales se depositaron probablemente en la parte media de una plataforma carbonatada que fue perdiendo profundidad entre las muestras NK-150 y NK-75, indicando el depósito de ésta última en la parte interna relativamente cerca de la línea de costa. Esta tendencia a la somerización provocó la desaparición de varias especies cuyo último registro está comprendido entre ambas muestras (Fig. 9). Posteriormente, este índice aumenta hasta el 42,5% en la muestra NK-15 para descender hasta el 19,8% en los dos últimos cm previos al límite K/Pg (Anexo 3). Estos dos últimos valores indican una tendencia al aumento de la paleobatimetría en la parte más alta del Maastrichtiense, pero sin llegar a alcanzar condiciones propias de la parte externa de la plataforma, lo que probablemente hubiera supuesto la entrada de géneros como *Abathomphalus*, *Plummerita*, *Globotruncana*, *Globotruncanita* o *Contusotruncana* (ver apartado 3.3.1).

Un segundo índice usado para evaluar la evolución paleobatimétrica es la relación *Guembelitra/Heterohelix*. Keller *et al.* (1993) relacionaron este índice con las variaciones del nivel del mar, teniendo en cuenta que *Guembelitra* es un género oportunista de estrategia r que abunda especialmente en ambientes muy someros y enriquecidos en nutrientes (eutróficos). La evolución de este índice (Fig. 10) marca tendencias similares con la del índice FP/FB, con un nivel del mar bastante estable hasta la muestra NK-250, un descenso progresivo hasta la NK-75 y un aumento relativo hasta llegar al límite K/Pg.

Significativamente, en Nye Klov se alcanza un acmé importante de *Guembelitra* en la muestra NK-75, con valores cercanos al 20% (Anexo 2). Su coincidencia con la muestra donde se ha interpretado una mayor somerización, sugiere que este predominio estaría

causado por llegada de gran cantidad de nutrientes transportados desde zonas cercanas de la plataforma, que ahora estarían emergidas.

Los acmés de *Guembelitra* también se han relacionado con el vulcanismo del Decán. El trabajo más detallado es el de Abramovich *et al.* (2010), donde se identifican varios acmés de *Guembelitra* a finales del Maastrichtiense en secciones de Israel y Túnez, que coinciden con intervalos de calentamiento de las masas de aguas superficiales según muestran los datos del $\delta^{18}\text{O}$. Sin embargo, en el caso de Nye Klov es difícil establecer esta correlación, puesto que el acmé de *Guembelitra* identificado tiene lugar en un intervalo donde los datos del $\delta^{18}\text{O}$ medidos en esta sección por Keller *et al.* (1993) se mantienen estables (Fig. 10). Por ello, la causa de la eutrofia que propició el florecimiento de *Guembelitra* a finales del Maastrichtiense en Nye Klov estaría más relacionada con procesos eustáticos, que con el evento catastrófico volcánico que dio origen a la meseta del Decán.

El aumento de profundidad detectado hacia la parte alta de la sección y hasta el límite K/Pg fue el responsable de la entrada por vez primera de 9 especies de foraminíferos planctónicos (identificadas en los 15 cm finales): *Archaeoglobigerina blowi*, *Arch. cretacea*, *Pseudoguembelina hariaensis*, *Globotruncanella minuta*, *Rugoglobigerina rugosa*, *Rgb. milamensis*, *Rgb. rugosa*, *Rgb. hexacamerata*, *Rgb. macrocephala* y *Rgb. tradinghousensis* (Fig. 9). Se trata en muchos casos de especies de hábitat superficial, pero propias de la parte externa de la plataforma (archaeoglobigerinas y rugoglobigerinas), o bien de especies que habitan zonas de profundidades intermedias (el resto) (ver tabla 1). En este intervalo destaca el rápido y amplio acmé sufrido por *Rugoglobigerina tradinghousensis* que llega a alcanzar el 46% de frecuencia en la muestra NK-02. Sin embargo, no se ha podido explicar hasta el momento la causa, ya que es una especie muy escasa en el Tetis, de la que no se han encontrado acmés similares en otras secciones del límite K/Pg y de la que apenas hay publicaciones sobre sus factores ecológicos limitantes.

Con respecto al resto de los índices paleoecológicos cuya evolución se muestra en la Fig. 10, tanto en el caso de las proporciones entre las especies de estrategia r e intermedias y entre las especies de hábitat superficial e intermedio, los mayores cambios identificados suceden a partir de la muestra NK-75 y son coherentes con la interpretación paleobatimétrica realizada. Por su parte, la diversidad específica en Nye Klov se muestra bastante estable en todo el intervalo, con un crecimiento en la diversidad experimentado en los últimos 15 cm.

3.3.4. Extinciones previas al límite K/Pg y su relación con el vulcanismo del Decán

Ya se ha mencionado que, salvo los acmés que ya hemos comentado previamente y la entrada de nuevas especies al final del intervalo estudiado, las asociaciones de foraminíferos planctónicos maastrichtienses de Nye Klov permanecen bastante estables tanto desde el punto de vista cualitativo (diversidad específica), como cuantitativo (abundancias relativas). En este contexto, parece poca la influencia que la fase principal del vulcanismo del Decán tuvo sobre estos indicadores paleoceanográficos y paleoclimáticos de primera magnitud. Esto está de acuerdo con la menor influencia medioambiental que este evento pareció tener en localidades de altas latitudes como Nye Klov (Pardo y Keller, 2008). Esta conclusión también está avalada por la evolución del $\delta^{18}\text{O}$ mostrada en la Fig. 10, donde no se observan episodios de calentamiento significativos en las masas de agua superficial en esta parte de la cuenca danesa.

Con la finalidad de evaluar si el conjunto de desapariciones previas al límite K/Pg en Nye Klov tiene un carácter local o alguna de ellas refleja realmente un evento de extinción, se han comparado las cotas en las que se producen estos bioeventos en Nye Klov con el hecho de si cada una de estas especies está presente en los últimos 5 cm del Maastrichtiense de ciertos cortes auxiliares del GSSP de la base del Daniense, que cuentan con un buen registro de foraminíferos en facies profundas, continuas y expandidas (Molina *et al.*, 1998).

	Archaeoglobigerina blowi	Archaeoglobigerina cretacea	Globigerinelloides prairiellensis	Globigerinelloides volutus	Globigerinelloides yaucoensis	Globotruncanella minuta	Globotruncanella havanensis	Globotruncanella pschadae	Guembelitría blowi	Guembelitría cretacea	Guembelitría dammula	Hedbergella holmdelensis	Hedbergella monmouthensis	Hedbergella planispira	Heterohelix planata	Heterohelix globulosa	Heterohelix labellosa	Heterohelix navarroensis	Heterohelix punctulata	Planoglobulina acervulinoides	Planoglobulina carseyae	Pseudoguembelina hariaensis	Pseudotextularia elegans	Pseudotextularia intermedia	Pseudotextularia nutalli	Racemiguembelina powelli	Rugoglobigerina hexacamerata	Rugoglobigerina macrocephala	Rugoglobigerina tradinghousensis	Rugoglobigerina rugosa	Rugoglobigerina milamensis
Nye Klov	X	X	X	X	X				X	X			X		X	X			X	X	X	X				X	X	X	X	X	
Agost	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Caravaca	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Zumaya		X	X	X	X	X	X		X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla 3. Registro de las especies de foraminíferos planctónicos en los últimos 5 cm del Maastrichtiense en las secciones de Nye Klov, Agost, Caravaca y Zumaia, según datos de Molina *et al.* (1998) y de este trabajo.

Como puede observarse en la Tabla 3, las especies cuyo último registro en Nye Klov es previo al límite K/Pg, se encuentran presentes se extinguen en coincidencia con dicho límite en las secciones españolas. Ello nos permite corroborar que en Nye Klov, los cambios en las asociaciones de foraminíferos planctónicos fueron causados por eventos más locales, principalmente relacionados con las variaciones en la profundidad de la columna de agua.

4. CONCLUSIONS

1. Thirty one planktonic foraminifera species belonging to eleven genera have been identified in the last 6 meters of the Maastrichtian in the Nye Klov section, Denmark. A Dichotomous Key have been performed in order to identify species.

2. The following species were identified for the first time in this section: *Heterohelix labellosa*, *Pseudotextularia elegans*, *Pseudotextularia intermedia*, *Globigerinelloides volutus*, *Pseudoguembelina hariaensis*, *Racemiguembellina powelli* and *Rugoglobigerina tradinghousensis*.

3. Despite the low diversity in planktonic foraminifera hinders a more detailed biostratigraphic analysis, the studied interval belongs likely to the *Pseudoguembelina hariaensis* Zone, representing at least the last 500 kyr of the Cretaceous.

4. The composition of planktonic foraminifera assemblages suggests a subpolar, inner to middle neritic environment.

5. Planktonic foraminiferal quantitative analysis indicates that assemblages remained stable during the latest Maastrichtian, but two significant acmes have been identified: the first, in sample NK-75, is characterized by the predominance of *Guembelitria*; the second, in the last 15 cm below the Cretaceous/Paleogene, is characterized by the predominance of *Rugoglobigerina*. These episodes have been linked to a fall and a rise of the sea level, respectively.

6. The main phase of the Deccan Traps appears not to have strong influenced on the planktonic foraminifera assemblages of Nye Klov. The disappearance of 11 species before

the Cretaceous/Paleogene boundary have been interpreted as local disappearances caused by changes in palaeobathymetry, and not as extinctions linked to the Deccan Traps eruptions.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Abramovich, S., Yovel-Corem, S., Almogi-Labin, A. y Benjamini, C. (2010): Global climate change and planktic foraminiferal response in the Maastrichtian. *Paleoceanography*, 25: 1-15.
- Alvarez, W., Alvarez, L., Asaro, F. y Michel, H. (1980). Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, 208: 1095-1108.
- Arenillas, I., Alegret, L., Arz, J.A. y Molina, E. (2000): El uso didáctico de los foraminíferos en la enseñanza de ciencias de la Tierra: su distribución paleoceanográfica en el tránsito Cretácico-Terciario. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 8.2: 108-118.
- Arz, J.A., Arenillas, I., Molina, E. y Sepúlveda, R. (2000): La estabilidad evolutiva de los foraminíferos planctónicos en el Maastrichtiense Superior y su extinción en el límite Cretácico/Terciario de Caravaca, España. *Revista Geológica de Chile*, 27 :27-47.
- Arz, J.A., Arenillas, I. y Nájuez, C. (2010): Morphostatistical analysis of Maastrichtian populations of *Guembelitra* from El Kef, Tunisia. *Journal of Foraminiferal Research*, 40: 146-164.
- Batenburg, S.J., Sprovieri, M., Gale, A.S., Hilgen, F.J. Hüsing, S., Laskar, J., Liebrand, D., Lirer, F., Orue-Etxebarria, X., Pelosi, N. y Smit, J. (2011): Cyclostratigraphy and astronomical tuning of the Late Maastrichtian at Zumaia (Basque country, Northern Spain). *Earth and Planetary Science Letters*, 359-360: 264-278.
- Boudagher-Fadel, M.K. (2013): *Biostratigraphic and Geological significance of planktonic foraminifera*. Department of Earth Sciences, University College London, London, 299 p. ISBN: 978-0-444-53638-9.
- Caron, M. (1985): *Cretaceous planktonic foraminifera*. In: Bolli, H.M., Saunders, J.B. y Perch-Nielsen, K.P. (Eds.), *Plankton Stratigraphy*, Cambridge University Press, Cambridge, 17-86.

- Chenet, A.L., Quidelleur, X., Fluteau, F., Courtillot, V. y Bajpai, S. (2007): ^{40}K - ^{40}Ar dating of the Main Deccan large igneous province: Further evidence of KTB age and short duration. *Earth and Planetary Science Letters*, 263: 1-15.
- Courtillot, V., Feraud, G., Maluski, H., Vandamme, D., Moreau, M.G., Besse, J. (1988): Deccan flood basalts and the Cretaceous/Tertiary boundary. *Nature*, 333: 843-846.
- Hansen, H.J., Gwozdz, R., Hansen, J.M., Poromley, R.G., y Rasmussen, K.L. (1986): The diachronous KT plankton extinction in the Danish Basin. In: Walliser, O. (ed.), *Global bioevents*: Amsterdam, Springer-Verlag, p. 381-384.
- Hemleben, C., Spindler, M. y Anderson, O.R., (1989): *Modern planktonic foraminifera*. Nueva York, Springer-Verlag, 363 p. ISBN: 3540968156.
- Keller, G. (1989): Extended period of extinctions across the Cretaceous/Tertiary boundary in planktonic foraminifera of continental-shelf sections: Implications for impact and volcanism theories. *Geological Society of American Bulletin* 101: 1408-1419.
- Keller, G., Barrera, E., Schmitz, B. y Mattson, E. (1993): Gradual mass extinction, species survivorship, and long-term environmental changes across the Cretaceous-Tertiary boundary in high latitudes. *Geological Society of America Bulletin*, 105: 979-997.
- Knight, K.B., Renne, P.R., Halkett, A., White, N. (2003): $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Rajahmundry Traps, eastern India and their relationship to the Deccan traps. *Earth and Planetary Science Letters*, 208: 85-99.
- McCann, T. (2008): *The geology of Central Europe. Volume 2: Mesozoic and Cenozoic*. Geological Society. London. 1348 p. ISBN: 186239265X.
- Molina, E., Arenillas, I. y Arz, J.A. (1998): 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.
- Molina, E. (Editor) (2004): *Micropaleontología (Segunda Edición)*. Colección Textos Docentes, 93,704 p. Prensas Universitarias de Zaragoza. ISBN: 84-7733-744-6.
- Murray, J.W. (1991): *Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera*. Longman Scientific & Technical, New York, 397 p.
- Nederbragt, A.J. (1990): *Biostratigraphy and paleoceanographic potential of the Cretaceous planktic foraminifera Heterohelicidae*. Academisch Proefschrift, Centrale Huisdrukkerij Vrije Universiteit, Amsterdam, 203 p.

- Nederbragt, A.J. (1991): Late Cretaceous biostratigraphy and development of Heterohelicidae (planktic foraminifera). *Micropaleontology*, 37: 329-372.
- Pardo, A. y Keller, G. (2008): Biotic effects of environmental catastrophes at the end of the Cretaceous and early Tertiary: *Guembelitra* and *Heterohelix* blooms. *Cretaceous Research*, 29: 1058-1073.
- Pérez-Rodríguez, I., Less, J.A., Larrasoaña, J.C., Arz, J.A. y Arenillas, I. (2012): Planktonic foraminiferal and calcareous nannofossil biostratigraphy and magnetostratigraphy of the uppermost Campanian and Maastrichtian. *Cretaceous Research*, 37: 100-126.
- Pérez-Rodríguez, I. (2013): *Biocronoestratigrafía y evolución ambiental del Coniaciense superior al Maastrichtiense con foraminíferos planctónicos*. Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 339 p. ISSN: 2254-7606.
- Petrizzo, M.R. (2002): Palaeoceanographic and palaeoclimatic inferences from Late Cretaceous planktonic foraminiferal assemblages from the Exmouth Plateau (ODP Sites 762 and 763, eastern Indian Ocean). *Marine Micropaleontology*, 45: 117-150.
- Ravizza, G. y Pucker-Ehrenbrink, B. (2003): Chemostratigraphic Evidence of Deccan Volcanism from the Marine Osmium Isotope Record. *Science*, 302: 1392-1395.
- Robaszynski, F., Caron, M., Gonzalez, J.M. y Wonders, A. (1984): Atlas of late Cretaceous Globotruncanids. *Revue de Micropaléontologie*, 26: 1-305.
- Schulte, P., Alegret, L., Arenillas, I., Arz, J.A., Barton, P.J., Bown, P.R., Bralower, T.J., Christeson, G.L., Claeys, P., Cockell, C.S., Collins, G.S., Deutsch, A., Goldin, T.J., Goto, K., Grajales-Nishimura, J.M., Grieve, R.A.F., Gulick, S.P.S., Johnson, K.R., Kiessling, W., Koeberl, C., Kring, D.A., MacLeod, K.G., Matsui, T., Melosh, J., Montanari, A., Morgan, J.V., Neal, C.R., Nichols, D.J., Norris, R.D., Pierazzo, E., Ravizza, G., Rebolledo-Vieyra, M., Reimold, W.U., Robin, E., Salge, T., Speijer, R.P., Sweet, A.R., Urrutia-Fucugauchi, J., Vajda, V., Whalen, M.T. y Willumsen, P.S. (2010): The Chicxulub Asteroid Impact and Mass Extinction at the Cretaceous- Paleogene Boundary. *Science*, 327: 1214-1218.
- Smit, J. (1999): The global stratigraphy of the Cretaceous-Tertiary boundary impact ejecta. *Annual Review of Earth and Planetary Science Letters*, 27: 75-113.
- Smit, J. (1990): Meteorite impact, extinctions and the Cretaceous-Tertiary Boundary. *Geologie en Mijnbouw*, 69: 187-203.

Smith, C.C., y Pessagno, E.A. (1973): Planktonic foraminifera and stratigraphy of the Corsicana formation (Maestrichtian) North-Central Texas. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special publication*, 68 p.

Sørensen, A.M. (2012): Comparative analysis of K/T boundary sites. En: *Nomination of Stevns Klint for inclusion in the World Heritage List* (T. Damholt, y F. Surlyk, Eds.), Heddinge Denmark, 1-54. ISBN: 978-87-994430-2-4.

Venkatesan, T.R., Pande, K., y Gopalan, K. (1992): Did Deccan volcanism pre-date the Cretaceous/Tertiary transition. *Earth and Planetary Science Letters*, 119: 181- 189.

6. ANEXOS

Foraminíferos planctónicos	Muestras	NK-600	NK-400	NK-250	NK-150	NK-75	NK-15	NK-02
<i>Archeoglobigerina blowi</i> Pessagno, 1967							2	13
<i>Archeoglobigerina cretacea</i> (d'Orbigny, 1840)							1	6
<i>Globigerinelloides prairiellensis</i> (Pessagno, 1967)		97	59	23	43	90	40	12
<i>Globigerinelloides volutus</i> (White, 1929)		11	5	6	3	4	1	1
<i>Globigerinelloides yaucaensis</i> (Pessagno, 1960)		7	17	5	8	3	2	2
<i>Globotruncanella minutata</i> Caron y González Donoso, 1984								6
<i>Globotruncanella havanensis</i> (Voorwijk, 1937)				1				
<i>Globotruncanella pschadae</i> (Keller, 1946)						2		
<i>Guembeltrina blowi</i> Arz, Arenillas y Nañez, 2010								
<i>Guembeltrina cretacea</i> Cushman, 1933		3	12	5	6	13	14	2
<i>Guembeltrina dammula</i> Voloshina, 1961		2	4	7	26	47	20	2
<i>Hedbergella holmdelensis</i> Olsson, 1964		8	12	3	5	3	5	
<i>Hedbergella monmouthensis</i> (Olsson, 1960)		3	2	2		1	2	X
<i>Hedbergella planispira</i> (Tappan, 1940)		2	2	3	1			
<i>Heterohelix planata</i> (Cushman, 1938)			1					
<i>Heterohelix globulosa</i> (Ehrenberg, 1840)		152	175	177	178	102	163	33
<i>Heterohelix labellosa</i> Nederbragt, 1991		15	20	11	20	10	19	2
<i>Heterohelix navarroensis</i> Loeblich, 1951		5	5	4	12	1	4	
<i>Heterohelix punctulata</i> (Cushman, 1938)		1	1	9				
<i>Planoglobulina acervulinoides</i> (Egger, 1899)				4	1	3	1	4
<i>Planoglobulina carseyae</i> (Plummer, 1931)				18	X	6	5	6
<i>Pseudoguembelina hariaensis</i> Nederbragt, 1991								1
<i>Pseudotextularia elegans</i> (Rzehak, 1891)		1	1	10	3	21	1	8
<i>Pseudotextularia intermedia</i> de Klasz, 1953				2	2			
<i>Pseudotextularia nuttalli</i> (Voorwijk, 1937)		1			4			
<i>Racemiguembelina powelli</i> Smith y Pessagno, 1973				1				
<i>Rugoglobigerina hexacamerata</i> Brönnimann, 1952								6
<i>Rugoglobigerina macrocephala</i> Brönnimann, 1952								2
<i>Rugoglobigerina tradinghousensis</i> Pessagno, 1967							22	139
<i>Rugoglobigerina rugosa</i> (Plummer, 1926)							2	32
<i>Rugoglobigerina milamensis</i> Smith y Pessagno, 1973							2	34
Total		308	316	289	313	307	307	311

Anexo 1. Análisis cuantitativo de las asociaciones de foraminíferos planctónicos (X, especie cuya presencia se ha reconocido tras la revisión exhaustiva del residuo).

Foraminíferos planctónicos	Muestras	NK-600	NK-400	NK-250	NK-150	NK-75	NK-15	NK-02
<i>Archaeoglobigerina</i>		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	6,1
<i>Globigerinerlloides</i>		37,4	25,6	12,0	17,6	31,7	14,0	4,8
<i>Globotruncanella</i>		0,0	0,0	0,3	0,0	0,7	0,0	1,9
<i>Guembelitra</i>		1,6	5,1	4,2	10,8	19,8	11,4	1,3
<i>Hedbergella</i>		4,2	5,1	2,5	0,3	1,3	2,3	0,0
<i>Heterohelix</i>		56,2	63,9	69,7	67,9	36,8	60,6	11,3
<i>Planoglobulina</i>		0,3	0,0	6,5	0,4	2,9	2,0	3,2
<i>Pseudoguembelina</i>		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
<i>Pseudotextularia</i>		0,3	0,3	4,5	3,0	6,8	0,3	2,6
<i>Racemiguembelina</i>		0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Rugoglobigerina</i>		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	68,5
Total		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Anexo 2. Abundancia relativa de los géneros de foraminíferos planctónicos.

Índice planctónicos/bentónicos	NK-600	NK-400	NK-250	NK-150	NK-75	NK-15	NK-02
	67%	38%	37%	60%	4%	42,50%	19,80%
Guembelitra/Heterohelix	NK-600	NK-400	NK-250	NK-150	NK-75	NK-15	NK-02
	3,29%	9,14%	1,13%	18,54%	59,80%	21,47%	12,12%
Estrategas r e intermedios	NK-600	NK-400	NK-250	NK-150	NK-75	NK-15	NK-02
	100%	100%	92,04%	99,69%	97,07%	88,60%	21,87%
Superficiales e intermedios	NK-600	NK-400	NK-250	NK-150	NK-75	NK-15	NK-02
	0%	0%	7,95%	0,31%	2,93%	11,40%	78,13%
Diversidad específica	NK-600	NK-400	NK-250	NK-150	NK-75	NK-15	NK-02
	14	14	17	16	15	19	20

Anexo 3. Valores de los índices de significado paleoambiental utilizados en este trabajo.