

MUNIBE (Antropologia-Arkeologia) 57	Homenaje a Jesús Altuna	55-66	SAN SEBASTIAN	2005	ISSN 1132-2217
-------------------------------------	-------------------------	-------	---------------	------	----------------

## Contribuciones del Pirineo Vasco al conocimiento de la crisis biológica del límite Cretácico-Terciario

### *Contributions of the Basque Pyrenees to the knowledge of the Cretaceous-Tertiary boundary biotic crisis*

**PALABRAS CLAVE:** Límite K/T, crisis biológica, Pirineo Vasco, foraminíferos planctónicos, nannofósiles calcáreos.  
**KEY WORDS:** K/T boundary, biotic crisis, Basque Pyrenees, planktic foraminifers, calcareous nannofossils.

J.I. BACETA\* G. BERNAOLA\* X. ORUE-ETXEBARRIA\*  
E. APELLANIZ\* V. PUJALTE\* F. CABALLERO\*

#### RESUMEN

En el Pirineo Vasco existen numerosos afloramientos del límite Cretácico-Terciario en facies marinas (hemi)pelágicas. En este trabajo presentamos una síntesis de datos sobre la estratigrafía general y detallada del límite y los principales acontecimientos evolutivos de los foraminíferos planctónicos y los nannofósiles calcáreos durante la transición entre el Cretácico y el Terciario. Estos datos revelan que el Pirineo Vasco contiene un registro potente y relativamente completo del límite, que incluye la arcilla rica en elementos cósmicos que fue seleccionada en el Kef (Túnez) como marcador formal del límite geocronológico. En el Pirineo Vasco, el depósito de esta capa arcillosa fue contemporáneo con un drástico descenso en la diversidad de foraminíferos planctónicos y nannofósiles calcáreos, indicando una relación directa entre el meteorito que impactó en la península de Yucatán (México) y la extinción de primer orden que afectó a ambos grupos de plancton calcáreo.

#### ABSTRACT

Numerous outcrops of the Cretaceous-Tertiary boundary in deep marine (hemi)pelagic facies exist in the Basque Pyrenees. In this paper we present a synthesis of data about the general and detailed stratigraphy of the boundary in the area and the main evolutionary steps recognised in the evolution of planktic foraminifers and calcareous nannofossils during the Cretaceous-Tertiary boundary. These data reveal that the Basque Pyrenees contain thick and relatively complete K/T boundary sections, including the clay layer rich in cosmic markers which was selected in el Kef (Tunisia) to define the boundary formally. In the Basque Pyrenees the deposition of this clay layer was contemporaneous to a drastic reduction in the diversity of both planktic foraminifers and calcareous nannofossils, thus indicating a direct link between the meteorite impact in the Yucatan Peninsula and the first-order extinction event which affected to both groups of calcareous plankton.

#### LABURPENA

Euskal Herriko Pirinioetan itsastar fazie hemipelagikoei dagozkien azaleramendu ugari daude Kretazeo/Tertziario muga beraien baitan gordetzen dutenak. Lan honetan, Kretazeo/Tertziario iragaketa-aren estratigrafía orokorra eta zehatza erakustez gain, muga horretan foraminifero planktonikoek zein nannofosil karetsuek jasan zituzten gertaera ebolutibo nagusien datu-sintesia ere aurkezten da. Datu hauek, Euskal Herriko Pirinioek K/T mugaren erregistro zabala eta nahiko osoa dutela adierazten dute. Bertan elementu kosmikoez aberatsa den buztin geruza aurki daiteke, el Kef-en (Tunizia) muga geokronologikoa markatzaile formalizat hautatua izan zena. Euskal Herriko Pirinioetan buztin geruza honen metatzeak bat egiten du foraminifero planktoniko eta nannofosil karetsuen dibertsitate murrizketa bortitz batekin, Yucatan penintsulan (Mexiko) talka egin zuen meteorito eta plankton karetsuaren organismo talde bi hauek eragin zuen suntsipen masiboaren arteko lotura zuzena dagoela adieraziz.

\* J.I. BACETA, G. BERNAOLA, X. ORUE-ETXEBARRIA, E. APELLANIZ, V. PUJALTE Y F. CABALLERO.  
Estratigrafía eta Paleontología Saila, Zientzia eta Teknologia Fakultatea, Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU, 644 pk., 48080 Bilbao.  
Autor de contacto: J.I. BACETA, e-mail <gppbacaj@lg.ehu.es>

## INTRODUCCIÓN

Desde su aparición en nuestro planeta hace aproximadamente 3500 Ma (millones de años) la vida ha experimentado un ininterrumpido proceso de evolución determinado por una diversificación continua y la aparición progresiva de organismos capaces de ir colonizando los distintos hábitats marinos y terrestres. No obstante, la evolución de la vida ha estado jalonada por intervalos de crisis biológica, caracterizados por extinciones masivas que, asimismo, marcaron la aparición y/o expansión de nuevos linajes de organismos. Los eventos de crisis biológica global, de los cuales se distinguen 5 principales o de primer orden y entre 3 y 5 de segundo orden (JABLONSKY, 1991), han constituido la base para la definición de las principales divisiones (límites) de la escala de tiempos geológicos, siendo objeto de análisis exhaustivos tanto para comprobar la tasa y modalidad de cambio en las formas de vida como para establecer qué proceso o sucesión de procesos contribuyeron a su desarrollo. La más reciente entre las crisis de primer orden ocurrió hace aproximadamente 65 Ma, coincidiendo con el límite entre las eras Mesozoica y Cenozoica, más comúnmente conocido como límite Cretácico-Terciario o límite K/T. Esta crisis biológica ha despertado durante las últimas décadas acalorados debates entre la comunidad científica internacional, principalmente en lo que respecta a sus posibles causas generadoras. Actualmente existe consenso al afirmar que fue resultado de una sucesión encadenada de procesos adversos que actuaron durante un periodo de tiempo cercano a los 2 Ma. El último y más determinante entre todos ellos habría sido el impacto de un cuerpo meteorítico de dimensiones considerables (alrededor de 10 km de diámetro según las estimaciones), acontecimiento evidenciado por la presencia de un cráter soterrado de más de 100 km de diámetro al norte de la península de Yucatán (cráter de Chicxulub; HILDEBRAND *et al.*, 1991). Este impacto meteorítico habría provocado un considerable deterioro de las condiciones ambientales, manifestado en los alrededores de la zona de colisión por importantes movimientos sísmicos y enormes olas de tsunami, y en el resto del planeta por efecto invernadero, incendios generalizados, lluvia ácida, oscurecimiento y envenenamiento de la atmósfera y una disminución sustancial de la capa de ozono estratosférico (ver datos detallados en POPE *et al.*, 1994; HILDEBRAND *et al.*, 1998; y SMIT, 1999). El influjo de estos y otros sucesos asociados en las formas de vida marinas y terrestres habría sido considerable a tenor de lo

observado en el registro fósil, habiéndose estimado que aproximadamente el 50% de los géneros y el 75 % de las especies experimentaron una extinción que, a escala geológica, puede considerarse como súbita y masiva (JABLONSKY, 1991). El grupo que, a nivel divulgativo, se toma como referente para ilustrar esta extinción global es el de los dinosaurios, aunque entre los científicos se considera que son los protistas y los invertebrados marinos los que sirven para caracterizar en detalle la sucesión de eventos individuales que jalonaron la crisis biológica del límite Cretácico-Terciario (para una revisión pormenorizada, ver MACLEOD *et al.*, 1997).

Este trabajo resume los principales resultados obtenidos durante los últimos 20 años por nuestro grupo de investigación en el análisis de numerosas secciones del límite Cretácico-Terciario en el Pirineo Vasco, localizadas en Bizkaia, Gipuzkoa y el oeste de Nafarroa, así como datos obtenidos en varias secciones descubiertas recientemente en el norte de Nafarroa. El objetivo principal es dar a conocer la importancia de los datos aportados por todas las secciones al conocimiento del límite, especialmente en lo referente a su expresión estratigráfica en sucesiones de sedimentos marinos profundos y su incidencia en la evolución experimentada por grupos tan significativos del plancton marino como los foraminíferos planctónicos o los nannofósiles calcáreos. Todo ello ha servido para que el Pirineo Vasco se haya convertido en un área de referencia mundial para el límite Cretácico-Terciario y para que algunas de sus secciones más representativas (p.ej. Zumaia, Hendaia o Bidart) reciban anualmente numerosas visitas de científicos de todas partes del mundo.

## LA DEFINICIÓN FORMAL DEL LÍMITE CRETÁCICO-TERCIARIO

Cualquier evaluación de la importancia del límite Cretácico-Terciario debe considerar que hace 50 años su propia posición era todavía muy imprecisa. La existencia de un cambio marcado entre las asociaciones fósiles que caracterizaban el Cretácico y el Terciario ya había sido documentada previamente en muchas zonas del planeta, aunque no había consenso sobre su posición cronológica precisa y mucho menos sobre su significado. De hecho, en zonas del noroeste de Europa donde esas edades están caracterizadas por potentes acumulaciones de creta (roca carbonatada principalmente constituida por acumulaciones de restos de algas microscópicas, los nannofósiles calcáreos), que hoy se adscriben al Terciario, se incluían

an, por su afinidad litológica, dentro de las series cretácicas. No fue hasta la década de los 60 cuando se comenzaron a resolver tales imprecisiones, mediante el análisis detallado del cambio drástico en las asociaciones de foraminíferos planctónicos en varias secciones de los Apeninos centrales (LUTERBACHER & PREMOLI-SILVA, 1964) y, posteriormente, mediante el reconocimiento de una lámina arcillosa centimétrica asociada a dicho cambio faunístico que mostraba una importante anomalía de iridio (ÁLVAREZ *et al.*, 1980), elemento escaso en la Tierra pero significativamente abundante en los restos de meteoritos. La identificación de este depósito arcilloso en otras muchas zonas del mundo (Dinamarca, diferentes puntos de Norteamérica, el Caribe y Sudamérica, Nueva Zelanda, norte de África, China y la propia península Ibérica, Fig. 1) confirmó la expresión global que tuvo el evento y dio pie al inicio de arduas tareas de investigación para dilucidar su origen. La confirmación de la existencia del cráter de Chicxulub y de su edad (HILDEBRAND *et al.*, 1991) y, paralelamente, el descubrimiento de toda una serie de depósitos asociados (brechas de impacto, capas gradadas de material eyectado, capas arenosas producto de olas de tsunami, etc) en su entorno cercano (Golfo de México), confirmaron la hipótesis del impacto meteorítico, siendo la capa arcillosa reconocida en el resto del mundo y la anomalía de iridio asociada, las evidencias que demostraban su influjo global. Con el objetivo de sentar las bases de un criterio de definición uniforme, una comisión científica internacional escogió la sección del El Kef, en Túnez (Fig. 1a), como lugar de referencia global para el límite Cretácico-Terciario y la base de la capa arcillosa rica en iridio allí preservada como el punto estratigráfico concreto para definir formalmente la separación entre las eras Mesozoica y Cenozoica (COWIE *et al.*, 1989). La capa arcillosa del límite tendría un carácter isocrono en todo el planeta y el hecho de que se haya identificado en múltiples contextos desde continentales a marino profundos, hace de ella un nivel perfecto para correlacionar y comparar las pautas de extinción y recuperación que experimentaron los diferentes grupos biológicos marinos y terrestres.

### EL LÍMITE CRETÁCICO-TERCIARIO EN EL PIRINEO VASCO

El Pirineo Vasco constituye un área geológica peculiar en cuanto al gran espesor y extensión cartográfica de los sedimentos de edad Mesozoica y Cenozoica. Al igual que el resto de zonas pirena-

cas se configuró como área emergida durante el Terciario medio (entre 40 y 30 Ma), como consecuencia de la convergencia tectónica que experimentaron las placas Europea e Ibérica (PUJALTE *et al.*, 2002). Hasta esos momentos, el Pirineo Vasco constituyó una zona marina abierta hacia el antiguo Golfo de Bizkaia y el Atlántico norte (Fig. 1b), que principalmente se definía por el depósito de materiales sedimentarios de grano fino y composición esencialmente carbonatada (calizas, margocalizas y margas), resultantes de la decantación lenta y uniforme de restos de organismos calcáreos microscópicos como los foraminíferos planctónicos y los nannofósiles calcáreos. Ambos grupos de microorganismos han sido desde el Jurásico superior hasta la actualidad componentes principales del plancton calcáreo, eslabón primario de las cadenas tróficas oceánicas y principal fuente del sedimento depositado en los fondos pelágicos.

Al igual que otras regiones geológicas, la localización del límite Cretácico-Terciario en las sucesiones sedimentarias del Pirineo Vasco ha sido poco precisa hasta fechas recientes. Los primeros datos sobre su posición y caracteres generales se deben a investigadores pioneros en la región (p. ej. CAREZ, 1881; ADAN DE YARZA, 1906; de JORGE, 1936; GOMEZ DE LLARENA, 1954; RAT, 1959; MANGIN, 1959-60; HILLEBRANDT, 1965; HERM, 1965). No obstante, no fue hasta las décadas de los 70 y 80, con los trabajos de ALLEN (1975), PERCIVAL & FISCHER (1977), LAMOLDA *et al.* (1983), ORUE-ETXEBARRIA (1983), SMIT & ROMEIN (1985), WIEDMAN (1988) o ROCCHIA *et al.* (1988), cuando se puso en evidencia la presencia de la arcilla rica en iridio que marca el límite globalmente y cuando se comenzaron a definir las pautas evolutivas de los principales grupos fósiles a través del tránsito entre eras. Los trabajos recientes más significativos realizados bajo una visión estratigráfico-sedimentológica corresponden a BACETA (1996) y PUJALTE *et al.* (1998), siendo los de GOROSTIDI & LAMOLDA (1995), APELLANIZ *et al.* (1997; 2002), ARENILLAS *et al.* (1998), APELLANIZ (1998; 2002), Y BERNAOLA (2002) los más detallados desarrollados bajo una perspectiva paleontológica. En conjunto, todos ellos han puesto de manifiesto la gran cantidad de secciones repartidas por todo el Pirineo Vasco, donde es fácilmente observable el límite Cretácico-Terciario, siendo las más conocidas y mejor estudiadas las correspondientes a Zumaia, Sopelana I y III, Monte Urko, Urrutxua, Herrera, Hendaia, Bidart y Gaskue (Fig. 1b).

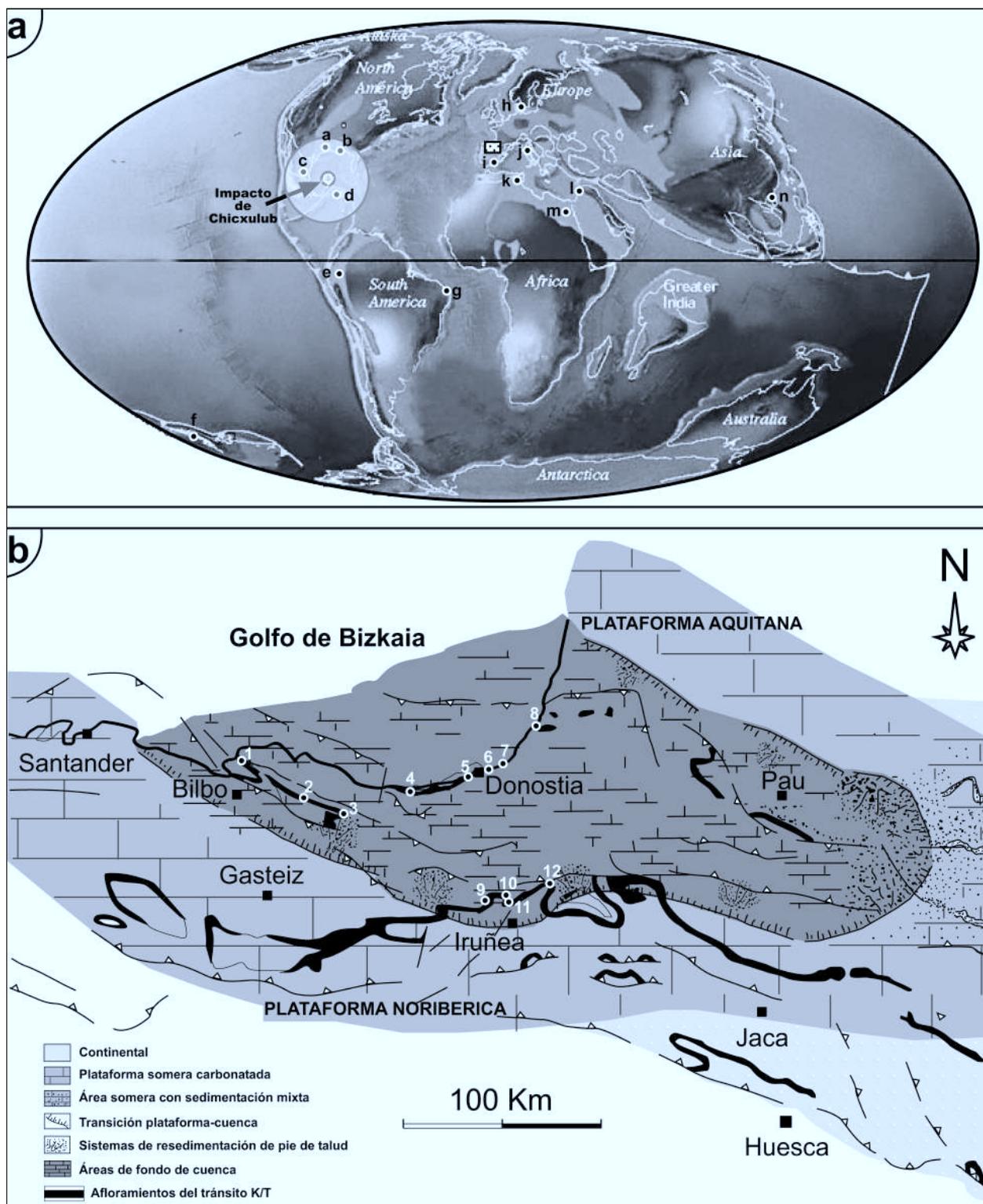


Figura 1. (A) Localización de las principales zonas y secciones donde se ha reconocido los depósitos que marcan el límite Cretácico-Terciario (K/T) relacionados con el impacto de Chicxulub (Reconstrucción paleogeográfica para la edad del límite K/T, 65 Ma, modificado de SCOTSE 2001). a) Texas (Brazos River), b) Alabama (Braggs), c) Cuenca de Burgos (La Lajilla, El Mulato, El Mimbral), d) Haití (Beloc), e) Colombia, f) Nueva Zelanda, g) Recife (Cantera de Poty), h) Dinamarca (Stevens Klint), i) Béticas (Agost, Caravaca), j) Apeninos centrales (Bottaccione, Contessa, Gubbio), k) Tunes (El Kef), l) Israel, m) Egipto, n) China.

(B) Mapa paleogeográfico de detalle del Pirineo Vasco, indicando la localización de las principales secciones donde se reconoce completo el límite Cretácico-Terciario (K/T), modificado de Baceta, 1996. 1) Sopelana I y III, 2) Urrutxua, 3) Monte Urko, 4) Zumaia, 5) Donostia, 6) Herrera, 7) Hendaia, 8) Bidart, 9) Muskiz, 10) Gaskue, 11) Eguaras, 12) Olague.

### POSICIÓN ESTRATIGRÁFICA Y SUCESIÓN DE DETALLE DEL LÍMITE CRETÁCICO-TERCIARIO

A lo largo del Pirineo Vasco, el límite Cretácico-Terciario se dispone en el tránsito entre dos unidades estratigráficas claramente discernibles en cuanto a sus propiedades litológicas, que de acuerdo a BACETA (1996) y PUJALTE *et al.* (1998) se habrían formado en un contexto de cuenca pelágica con una profundidad estimada del orden de 1000 a 1500 m. La unidad infrayacente al límite, denominada por SEUNES (1891) como Formación Margas de Bidart y por MATHEY (1982) como Miembro superior de la Formación Zumaia-Algorri, es de carácter blando y corresponde mayoritariamente a una alternancia regular de margas y margocalizas de un característico color rojizo (Fig. 2a y b), que en edad representa la parte superior del Maastrichtiense. Por su parte, la unidad suprayacente, "Calcaires Roses" según SEUNES (1891) o Formación Calizas del Danés de acuerdo a APELLANIZ *et al.* (1983), es más competente litológica-

mente, ya que constituye una sucesión dominada por calizas pelágicas de colores rosados y/o grises (Fig. 2a y b), que cronológicamente representa al Daniense. Esta estratigrafía general se repite en todas las secciones del Pirineo Vasco donde se ha preservado el límite K/T, carácter que asimismo se mantiene en la sucesión de detalle que lo define. De la correlación detallada de todas las secciones conocidas se ha establecido una sucesión tipo para todo el Pirineo Vasco que consta de los siguientes intervalos litológicos (APELLANIZ *et al.*, 1997; Fig. 2c):

- *Intervalo 1* (Maastrichtiense superior).

Margas y margocalizas compactas de coloraciones rojizas y eventualmente grises, ordenadas en capas alternantes de 15 a 20 cm de espesor. En algunas secciones (p.ej. Urrutxua, Zumaia y Herrera) estos depósitos incluyen intercalaciones de turbiditas de espesor centimétrico, principalmente constituidas por cuarzo detrítico y caparzones de foraminíferos planctónicos dentro de una matriz de fango micrítico.

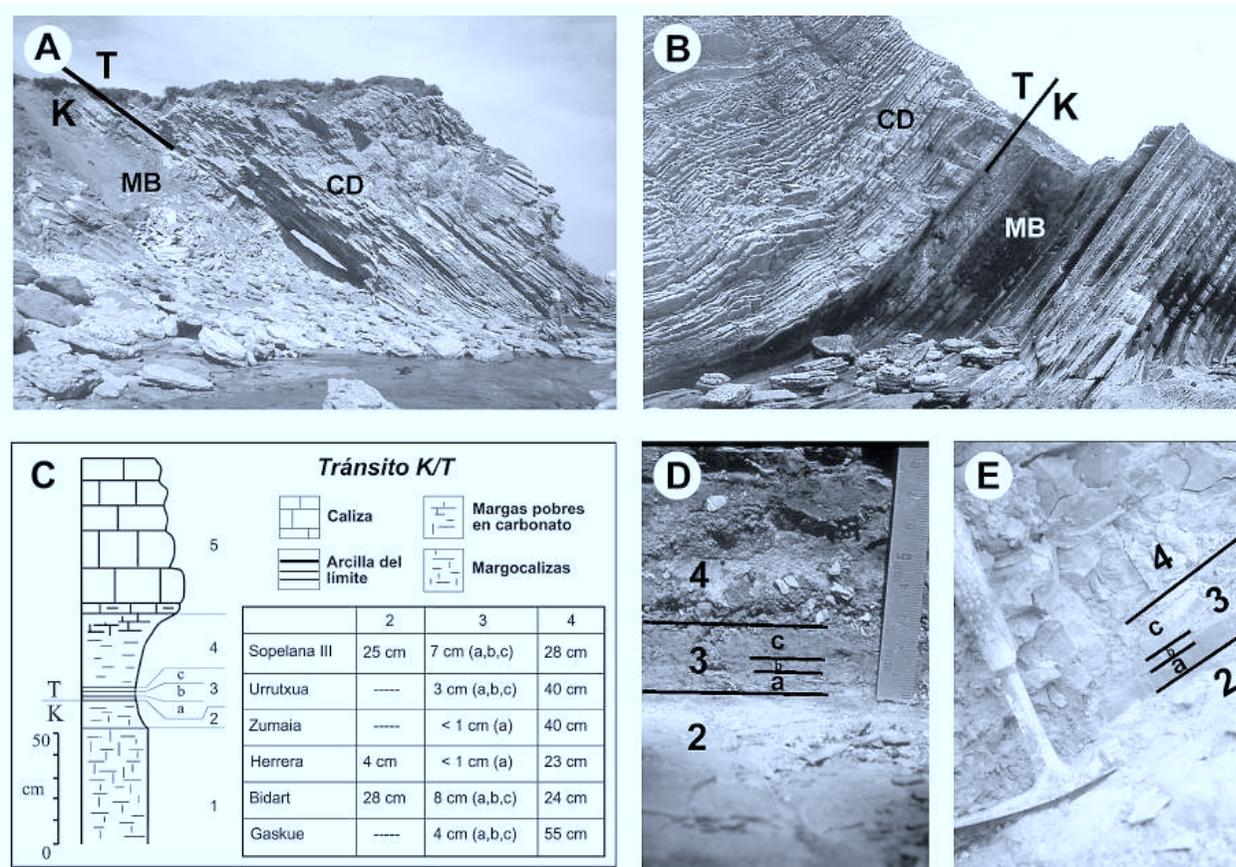


Figura 2. (A, B) Aspecto general del límite Cretácico-Terciario (K/T) en las secciones de Hendaia (a) y Zumaia (b); MB: Margas de Bidart, CD: Calizas del Danés.

(C) Sección tipo del límite Cretácico-Terciario (K/T) resultado de la correlación detallada entre todas las secciones conocidas del Pirineo Vasco con tabla indicativa de los espesores de los intervalos que definen el límite en las principales secciones.

(D, E) detalle de la arcilla del límite K/T de las secciones de Urrutxua (d) y Bidart (e). Explicación en el texto.

- *Intervalo 2* (Maastrichtiense final). Margas de coloraciones grises y rosadas. Presenta un espesor de 25 a 30 cm y solo se reconoce en las secciones de Sopelana III, Herrera, Bidart y Gaskue. Se caracteriza por una pérdida gradual en el contenido en carbonato cálcico y por presentar gran abundancia de microfósiles (nannofósiles calcáreos y foraminíferos planctónicos). Además, en algunas secciones destaca la presencia de nódulos y concreciones carbonatadas de tamaño centimétrico.

- *Intervalo 3* (arcilla del límite). Nivel arcilloso lateralmente persistente que llega a alcanzar un espesor máximo de 8 cm (sección de Bidart, Fig. 2e). Internamente se compone de tres partes diferenciadas: arcilla de color gris amarillento que registra un descenso pronunciado en el contenido de microfósiles calcáreos (3a), arcilla de color rojizo a ocre que presenta cantidades significativas de microesférulas con espinelas de alto contenido en níquel (3b), material que se interpreta como producto de la desintegración parcial por fricción del meteorito en su entrada en la atmósfera y, por último, arcilla laminada de color gris oscuro que apenas presenta restos de microfósiles (3c). En el tránsito entre los subniveles b y c es donde se sitúa la anomalía de iridio que caracteriza globalmente al límite, que en el Pirineo Vasco alcanza sus máximos valores en la sección de Urrutxua (Fig. 2d), con 28 ngr/gr (ROCCHIA *et al.*, 1996).

- *Intervalo 4* (Daniense basal). Margas de colores grises y de entre 20 y 50 cm de espesor que en la vertical van ganando progresivamente contenido en carbonato cálcico y en restos de microfósiles. En algunas secciones (p. ej. Herrera, Urrutxua, Zumaia y Monte Urko) incluyen intercalaciones de turbiditas centimétricas compuestas por cuarzo detrítico y proporciones variables de foraminíferos planctónicos, en su gran mayoría de edad cretácica.

- *Intervalo 5* (Daniense inferior). Calizas pelágicas francas de colores grises y rosados con delgadas intercalaciones de marga rojiza. Las calizas están constituidas mayoritariamente por microfósiles terciarios y de manera característica presentan un alto contenido en calciesferas (dinoflagelados calcáreos).

### COMPORTAMIENTO DEL PLANCTON CALCÁREO EN EL LÍMITE CRETÁCICO TERCIARIO

Los análisis sobre los dos grupos principales de plancton calcáreo, foraminíferos planctónicos y nannofósiles calcáreos, a través del límite Cretácico-Terciario han tomado como base la sucesión

tipo arriba descrita y han tenido como objetivos principales determinar la magnitud y la modalidad (brusca o gradual) de la extinción relacionada con el evento de impacto meteorítico, comprobar que porcentaje de especies sobrevivieron y hasta cuando y, finalmente, establecer la composición y las pautas de recuperación que experimentaron ambas comunidades tras el evento. Para alcanzar tales objetivos, los estudios han precisado el muestreo detallado de toda la sucesión del límite en las secciones más representativas (generalmente realizado a nivel centimétrico) y el empleo de técnicas de procesado y análisis muy meticulosas. Los resultados que seguidamente se resumen se fundamentan en los trabajos de APELLANIZ *et al.* (1997 y 2002) en lo referente a los foraminíferos planctónicos, y de BERNAOLA (2002) en lo que respecta a los nannofósiles calcáreos, así como en datos obtenidos en secciones descubiertas recientemente en el norte de Navarra.

#### *Foraminíferos planctónicos*

Los datos sobre la evolución de este grupo de plancton calcáreo provienen de las cuatro secciones donde está mejor conservado y/o donde la sucesión de límite es más potente y completa, esto es, las de Sopelana III, Urrutxua, Bidart y Gaskue (Fig. 1b). Del análisis integrado de tales secciones se ha concluido que en los depósitos del Maastrichtiense superior y final (intervalos 1 y 2) se llega a reconocer un total de 63 especies de foraminíferos planctónicos (Fig. 3b), con una riqueza (nº de ejemplares) que fluctúa en la mayoría de las muestras entre 45.000 y 100.000 ejemplares/gr. de muestra seca procesada. La asociación está compuesta principalmente por representantes de pequeño tamaño de los géneros *Heterohelix*, *Laeviheterohelix*, *Globigerinelloides* y *Pseudoguembelina*, siendo relativamente escasos (generalmente menos del 1%) los representantes de géneros de gran tamaño típicos del Cretácico tales como *Globotruncana*, *Globotruncanita*, *Contusotruncana*, *Racemiguembelina*, *Pseudotextularia*, *Rugoglobigerina* y *Abathomphalus* (Figs. 3 y 4). No obstante, es importante indicar que las 63 especies reconocidas están presentes a lo largo de ambos intervalos litológicos, evidenciando que su distribución era uniforme y relativamente homogénea.

La composición de la asociación de foraminíferos planctónicos cambia drásticamente dentro de la arcilla del límite (intervalo 3). Concretamente, en el subnivel 3b se registra la desaparición brusca

de 34 (aproximadamente el 54%) de las especies reconocidas en los intervalos infrayacentes (Fig. 3). Esta caída en diversidad está asimismo acompañada de un fuerte descenso en la riqueza, que pasa a valores de <500 ejemplares/gr. Las 29 especies restantes, que podemos denominar como supervivientes, se identifican en el subnivel 3c y el intervalo 4, aunque la mayoría de ellas no llega a superar el comienzo del intervalo 5. En el intervalo 4 la riqueza de las muestras va aumentando de forma progresiva, de manera que en su parte superior se llegan a alcanzar valores comprendidos entre 2.500 y 5.000 ejemplares/gramo. Paralelamente, en el intervalo 4 se detecta la aparición de 11 nuevas especies de foraminíferos planctónicos ya claramente terciarios, principalmente correspondientes a los géneros *Civisina* (*Parvularugoglobigerina*), *Eoglobigerina*, *Woodringina* y *Globoconusa*. La mayoría de ejemplares de estos géneros son de tamaño muy pequeño y en algunos casos, como en *Chiloguembelina* y *Chiloguembelitria* solo están presentes en el intervalo 4. Finalmente, a partir del tránsito entre los intervalos 4 y 5 se ha establecido la aparición de 4 nuevas especies representativas de géneros ya típicamente terciarios, tales como *Parasubbotina*, *Subbotina* y *Eoglobigerina* (Figs. 3 y 4). A partir de ese intervalo la riqueza de las muestras sigue aumentando de manera lenta y progresiva, aunque no es hasta la parte superior de las Calizas del Danés donde se recuperan valores de riqueza relativamente altos (alrededor de 10.000-20.000 ejemplares/gr. (ORUE-ETXEBARRIA 1983).

#### *Nannofósiles calcáreos*

Los datos sobre la evolución de este otro grupo se han obtenido en las secciones de Zumaia y Bidart, así como en muestreos puntuales en las secciones de Sopelana III y Gaskue (Fig. 1b). Como resultado de su análisis, en los depósitos del Maastrichtiense superior y final (intervalos 1 y 2) se ha reconocido un total de 74 especies de nannofósiles (Fig. 3). La asociación es prácticamente idéntica en todas las secciones en lo que respecta a las especies mayoritarias. Éstas, que constituyen entre el 70-80% de la asociación, corresponden a *Watznaueria barnesae*, *Micula decussata*, *Arkhangelskiella cymbiformis*, *Prediscosphaera cretacea*, *Cribrosphaerella ehrenbergii*, *M. concava*, *Retecapsa* spp., *Eiffellithus turriseiffelii*, *Zeugrhabdotus spiralis* y *M. murus* (Fig. 4). El 20-30% restante de la asociación representa a taxones que por lo general no superan el 2-3%, tales

como *Microrhabdulus attenuatus*, *Cylindralithus serratus*, *Ahmuellerella octoradiata*, *Chiastozygus* spp., *P. spinosa* y *M. prinsii*. En todas las muestras estudiadas los índices de diversidad, expresados en nº de especies/muestra y mediante el índice de Shannon-Weaver S(H), se mantienen en términos generales estables y con valores muy altos (entre 40-60 spp./muestra y un S(H) en torno a 3).

En el subnivel "a" de la arcilla del límite (intervalo 3) se ha reconocido una caída brusca e importante en la riqueza de nannofósiles (de 25 especímenes/c.v. a 3 especímenes/c.v.) y el comienzo de un descenso progresivo en la diversidad de este grupo (de 74 a 54 especies en el intervalo 3, y de 54 a 36 en el intervalo 4). Coincidiendo con las caídas en riqueza y diversidad asimismo se detecta un marcado incremento en la riqueza relativa de la especie "persistente" *Thoracosphaera operculata*, normalmente conocido como "bloom de *Thoracosphaera*" y que es descrito y utilizado en secciones de todo el mundo como uno de los eventos marcadores del límite K/T. Tras ese evento significativo y dentro de los intervalos 4 y 5, se registran otros "blooms" en otras especies persistentes como *Cyclagelosphaera reinhardtii*, *Octolithus multiplus* y *Braarudosphaera bigelowii* (Figs. 3 y 4). Asimismo, a lo largo de ambos intervalos se produce un relevo en la composición de la asociación, que pasa a estar dominada por las especies persistentes en perjuicio de las típicamente cretácicas. Este relevo es, en términos generales, muy rápido. La asociación se completa con la presencia de las primeras especies propiamente terciarias. Las primeras entre ellas son *Biantholithus sparsus*, *Bi. hughesii* y *Cy. alta* que aparecen pocos centímetros por encima del límite K/T, en el subnivel a del intervalo 3. Por encima tienen su primera aparición especies ya características del Terciario como *Br. discula*, *Br. alta*, *Cruciplacolithus primus* small y *Neobiscutum parvulum*. El dominio de las especies persistentes se extiende a lo largo del primer metro del Paleoceno (intervalos 4 y parte inferior del 5). A partir de la base de este último las especies terciarias pasan a ser dominantes en la asociación. A los "blooms" de las especies persistentes arriba indicadas les siguen los de las nuevas especies terciarias de pequeño tamaño, tales como *Ne. parvulum*, *Futyania petalosa*, *Prinsius dimorphosus* y *Prinsius martinii*. Aproximadamente a 2 m del límite K/T, ya dentro del intervalo 5, se produce la primera aparición de *Cr. primus* (large), considerada como la primera especie de morfología compleja entre las típicamente terciarias (Figs. 3 y 4).

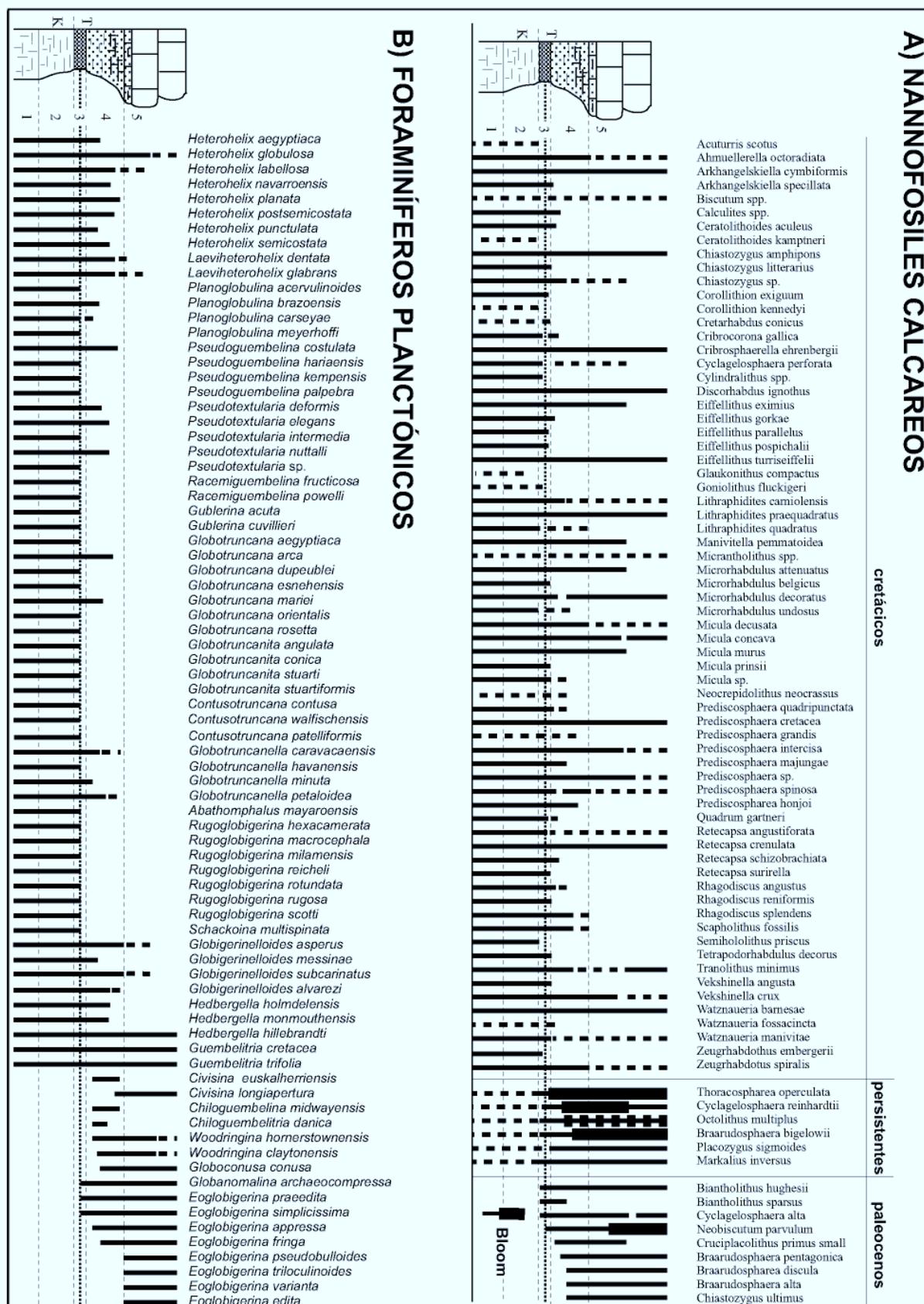
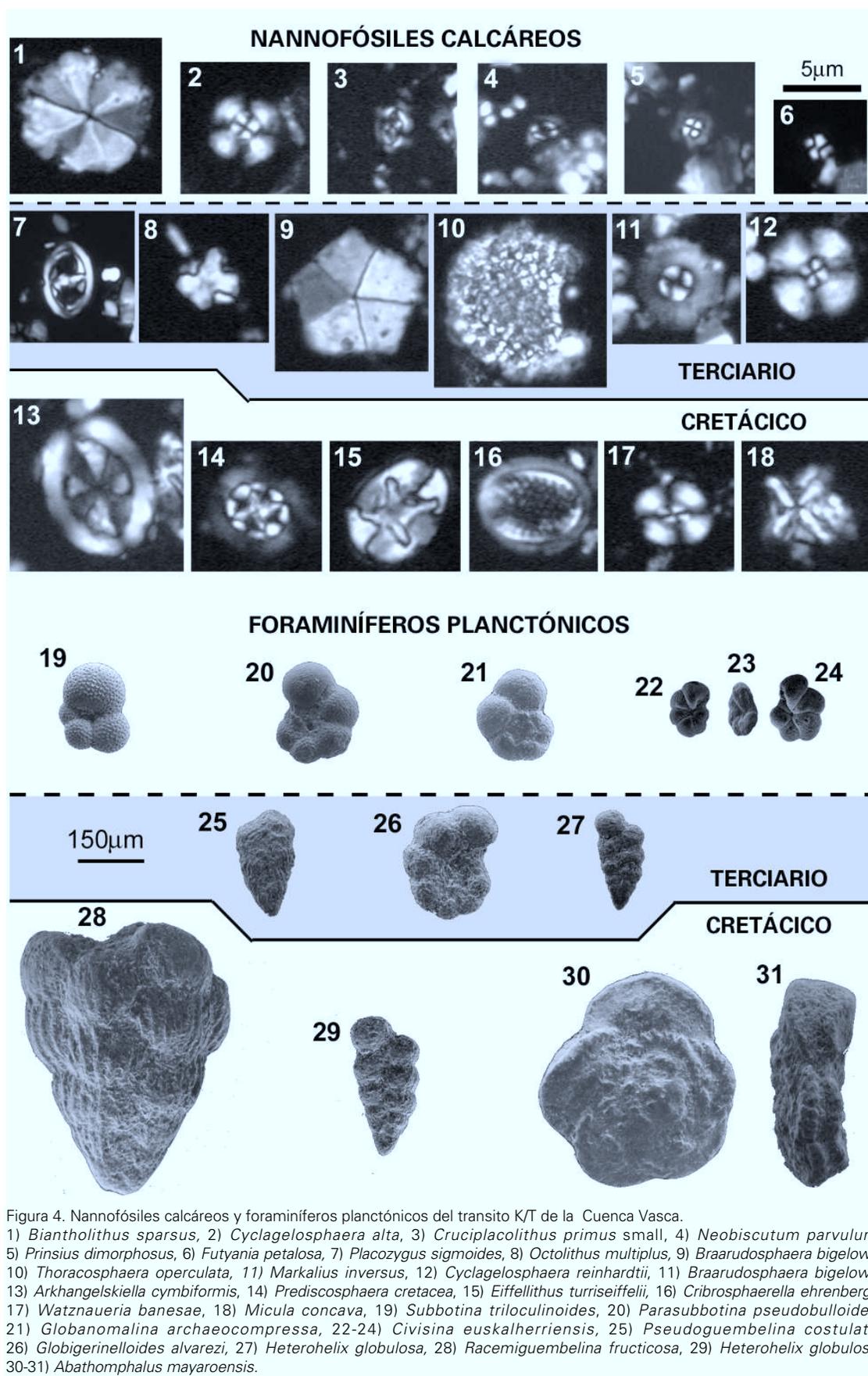


Figura 3. Síntesis de la distribución bioestratigráfica del plancton calcáreo en el tránsito Cretácico-Terciario (K/T) de la Cuenca Vasca. a) Nannofósiles calcáreos, b) Foraminíferos planctónicos.



## SÍNTESIS Y CONCLUSIONES

Los estudios de las secciones del Pirineo Vasco han puesto en evidencia que este área geológica cuenta con uno de los registros más completos y potentes del límite Cretácico-Terciario en contextos de cuenca profunda (hemi)pelágica. En efecto, tal registro es aproximadamente de 2 a 3 veces más potente que el preservado en zonas "clásicas" en el estudio del límite K/T en facies pelágicas, tales como el Apenino central y, dentro de él, secciones tan conocidas como las de Gubbio, Contessa o Bottaccione. Además, el Pirineo Vasco cuenta con la peculiaridad de concentrar en un área de extensión no muy grande un número muy elevado de secciones del límite K/T (en torno a 45 distribuidas por diferentes zonas de afloramiento de Bizkaia, Gipuzkoa y Nafarroa), que unido a la gran uniformidad lateral de la estratigrafía permite la realización de correlaciones de gran detalle entre las distintas secciones y los datos paleontológicos obtenidos en su estudio individual. Esta circunstancia ha permitido el establecimiento de una secuencia tipo del límite K/T, dentro de la cual quedan claramente definidos todos los acontecimientos evolutivos experimentados por los grupos fósiles analizados. Del estudio de la distribución, diversidad y riqueza en la vertical de los foraminíferos planctónicos y los nannofósiles calcáreos en las diferentes secciones del límite, se han deducido los siguientes aspectos:

- 1) Los valores constantes y relativamente altos de diversidad y riqueza reconocidos para ambos grupos en el Maastrichtense superior y final (intervalos 1 y 2 de la secuencia tipo) son indicadores de condiciones oceánicas estables y muestran que ambos grupos no estaban en declive a finales del Cretácico. Por lo tanto, no hay ningún indicio que prediga la brusca caída tanto en la riqueza absoluta como en la diversidad que experimentaron posteriormente.

- 2) En todas las secciones del Pirineo Vasco se registra, coincidiendo con la arcilla del límite K/T, un fuerte descenso tanto en la riqueza como en la diversidad de los nannofósiles calcáreos y foraminíferos planctónicos (del orden del 85% y 99% en la riqueza y del 25 % y 54% en la diversidad específica respectivamente). Ambos hechos indican un deterioro marcado en las condiciones oceanográficas que solo pueden explicarse en relación a un acontecimiento puntual en el tiempo y de carácter extraordinario; en este caso la estrecha relación entre dichos acontecimientos con los depósitos que definen el impacto de un cuerpo

meteorítico sobre el Golfo de México, establecerán una clara relación causa-efecto entre impacto meteorítico-deterioro de condiciones ambientales extinciones.

- 3) Tras el episodio de extinción registrado en la arcilla del límite, las condiciones oceanográficas habrían sido muy distintas a los momentos previos. En efecto, en ambos grupos de plancton calcáreo se reconocen índices muy bajos de diversidad y riqueza, a la vez que en los nannofósiles se registran episodios de "bloom" en especies catalogables como "oportunistas" que previamente habían sido muy minoritarias. Esta situación se encuadra claramente en el periodo de océano "Strangelove", que definiría los momentos posteriores a una extinción en masa de primer orden como la del límite K/T (Hsü & MCKENZIE, 1985), esencialmente caracterizado por una baja diversidad biológica y el predominio de especies generalistas y/o cosmopolitas en un régimen de circulación oceánica anómalo dominado por condiciones eutróficas.

- 4) La aparición de nuevos linajes de foraminíferos planctónicos y nannofósiles calcáreos tras el evento de extinción se empieza a producir poco después, aunque constituye un proceso gradual y progresivo que se prolongó durante mucho tiempo. En efecto, datos de ORUE-ETXEBARRIA (1983) y BERNAOLA (2002) confirman que ambos grupos no alcanzaron grados de diversidad y abundancia catalogables como "normales" hasta por lo menos el Daniense superior, es decir, hasta aproximadamente 3 Ma después del límite y el evento de extinción asociado. Este largo periodo de recuperación sería equiparable al estimado para otras crisis de primer orden, tales como la del Ordovícico superior o la del Pérmico-Triásico, en las que el retorno a niveles normales en condiciones ambientales y diversidad biológica habría tenido una duración del orden de 5 Ma.

Como colofón, es importante señalar que el Pirineo Vasco puede contribuir en un futuro próximo a desvelar aspectos todavía no resueltos en relación al límite Cretácico-Terciario. Entre ellos destaca el comportamiento de grupos tan significativos de plantas e invertebrados marinos someros como las algas calcáreas, los foraminíferos bentónicos y los corales escleractínidos. El conocimiento sobre la evolución de estos grupos es todavía limitado, principalmente por la escasez y bajo grado de preservación de sucesiones de plataforma somera de esas edades y que, además, cuentan con un registro sedimentario y fosilífero relativamente completo del tránsito. Estudios re-

cientes llevados a cabo en las Sierras de Urbasa y Andía (BACETA et al., en prensa) han demostrado que este sector del Pirineo Vasco reúne tales condiciones y, consecuentemente, que puede revelarse como una importante fuente de datos sobre la evolución y el influjo que tuvo en los ecosistemas marino someros la crisis biológica del límite Cretácico-Terciario.

## AGRADECIMIENTOS

JIB agradece el soporte a través de una plaza del Programa "Ramón y Cajal" del Ministerio de Educación y Ciencia. GB agradece el soporte a través de una beca postdoctoral del Gobierno Vasco. Esta es una contribución a los proyectos de investigación: UPV 121-310-EB191/98; UPV 121-310-14455/2002; DGICCYT-PB98-0243 y DGICCYT-BTE2002-03806.

## BIBLIOGRAFÍA

- ADÁN DE YARZA, R.  
1906. El País Vasco en las edades geológicas. *Bol. Inst. Geol. Min. España* 28, 45-63.
- ALLEN, L.G.  
1975. *Changes in foraminifera in the Cretaceous-Tertiary boundary crisis at the Punta de San Telmo, Zumaya, Spain*. Tesis Doctoral Universidad de Princeton, 62 p. (inédita).
- ALVAREZ, L.W., W. ALVAREZ, F. ASARO & MICHEL, H.V.  
1980. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science* 208:1095-1108.
- APELLANIZ, E., LAMOLDA, M.A., ORUE-ETXEBARRIA, X.  
1983. Posición estratigráfica de las "Calizas del Danés", País Vasco. *Rev. Esp. De Micropaleontología* 15(3), 447-455.
- APELLANIZ, E., BACETA, J.I., BERNAOLA-BILBAO, G., NÚÑEZ-BETELU, K., ORUE-ETXEBARRIA, X., PAYROS, A., PUJALTE, V., ROBIN, E. & ROCCHIA, R.  
1997. Analysis of uppermost Cretaceous-lowermost Tertiary hemipelagic successions in the Basque Country (western Pyrenees): evidence for a sudden extinction of more than half planktic foraminifer species at the K/T boundary. *Bull. Soc. géol. France* 168(6), 783-793.
- APELLANIZ, E., ORUE-ETXEBARRIA, X. & LUTERBACHER, H.  
2002. Evolution of the early Paleocene planktonic foraminifera: a Basque point of view. *N. Jb. Geol. Pálaont. Abh.* 225(2), 157-194.
- ARENILLAS, I., ARZ, J.A. & MOLINA, E.  
1998. El límite Cretácico-Terciario en Zumaya, Osinaga y Musquiz (Pirineos): control bioestratigráfico y cuantitativo de hiatos con foraminíferos planctónicos. *Rev. Soc. geol. España* 11(1-2), 127-138.
- BACETA, J.I.  
1996. *El Maastrichtense superior, Paleoceno e Ilerdiense inferior de la Región Vasco-Cantábrica: secuencias deposicionales, facies y evolución paleogeográfica*. Tesis Doctoral Universidad del País Vasco, 372 p (inédita).
- BACETA, J.I., PUJALTE, V. & BERNAOLA, G.  
e.p. Paleocene coralgal reefs of the western Pyrenean Basin, N Spain: evidence concerning the post-Cretaceous recovery of reefal ecosystems. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. Special Issue Paleobiotic changes in Earth History and their causes*.
- BERNAOLA, G.  
2002. *Los nannofósiles calcáreos del Paleoceno en el Dominio Pirenaico: bioestratigrafía, cronoestratigrafía y paleoecología*. Tesis Doctoral Universidad del País Vasco, 445 p (inédita).
- CAREZ, L.  
1881. *Etude des terrains crétacés et tertiaires de N de l'Espagne*. Tesis Doctoral Universidad de Paris, 327 p.
- COWIE, J.W., ZIEGLER, W. & REMANE, J.  
1989. Stratigraphic Commission accelerates progress, 194 to 1989. *Episodes* 11(2), 79-83.
- de JORGE, E.  
1936. El Eoceno en Vizcaya. *Not. y Comun. Inst. Geol. Min. España* 6, 81-101.
- GÓMEZ DE LLARENA, J.  
1954. Observaciones en el flysch Cretácico-Nummulítico de Guipuzcoa. *Mongr. Inst. "Lucas Mallada", Inst. Geol.* 15, 1-47.
- GOROSTIDI, A. & LAMOLDA, M.A.  
1995. La nannoflora calcárea y el tránsito K/T de la sección de Bidart (SW de Francia). *Rev. Esp. de Paleontología, número Homenaje al Dr. Guillermo Colom*, 153-168.
- HERM, V.D.  
1965. Mikropaleontologisch-stratigraphische untersuchungen im Kreideflisch zwischen Deva und Zumaya (prov. Guipuzcoa, nordspanien). *Zeit. Dt. Geol. Ges.* 115(1), 277-348.

- HILDEBRAND, A.R., PENFIELD, G.T., KRING, D.A., PILKINGTON, M., CAMARGO, Z.A., JACOBSEN, S.B. & BOYNTON, W.V.  
1991 Chicxulub crater: a possible Cretaceous-Tertiary boundary impact crater on the Yucatan peninsula, Mexico. *Geology* 19, 867-871.
- HILDEBRAND, A.R., PILKINGTON, M., ORTÍZ-ALEMÁN, C., CHAVEZ, R.E., URRUTIA-FUCUGAUCHI, J., CONNORS, M., GRANIEL-CASTRO, E., CAMARA, Z.A., HALPENNY, J.A. & NIEHAUS, D.  
1998 Mapping Chicxulub crater structure with gravity and seismic reflection data. In: GRADY, M.M., HUTCHINSON, R., McCALL, G.J.H., ROTHERY, D.A. (Eds.), *Meteorites: flux with Time and Impact Effects*. Geological Society London, *Special Publications* 140, 153-173.
- HILLEBRANDT, A. von  
1965 Foraminiferen-Stratigraphie im Alttertiär von Zumaya (prov. Guipuzcoa NW Spanien) und ein Vergleich mit anderen Tethys-Gebieten. *Abhand. Königlichen Bayerischen Akademie Wissenschaften mathematische-naturwissenschaftliche Klasse* 123, 1-63.
- HSÜ, K.J. & MCKENZIE, J.A.  
1985 A "strangelove" ocean in the earliest Tertiary. In: SUNDQUIST, E.T. & BROECKER, W.S. (eds) *Natural variations: Archean to present*. American Geophysical Union *Monographs* 32, 487-492.
- JABLONSKY, D.  
1991 Extinctions: a paleontological perspective. *Science* 253, 754-757.
- LAMOLDA, M.A., ORUE-ETXEBARRIA, X. & PROTO-DECIMA, F.  
1983 The Cretaceous-Tertiary boundary in Sopelana (Biscay, Basque Country). *Zitteliana* 10, 663-670.
- LUTERBACHER, H. & PREMOLI-SILVA, I.  
1964 Biostratigrafia del limite Cretaceo-Terziario nell'Apennino centrale. *Riv. It. Paleontologia e Estratigrafia* 70, 67-128.
- MACLEOD, N., RAWSON, P.F., FOREY, P.L., BANNER, F.T., BOUDAGHER-FADEL, M.K., BOWN, P.R., BURNETT, J.A., CHAMBERS, P., CULVER, S., EVANS, S. E., JEFFERY, C., KAMINSKI, M.A., LORD, A.R., MILNER, A.C., MILNER, A.R., MORRIS, N., OWEN, E., ROSEN, B.R., SMITH, A.B., TAYLOR, P.D., URQUHART, E. & YOUNG, J.R.  
1997 The Cretaceous-Tertiary biotic transition. *Jour. Geol. Soc.* 154, 265-292.
- MANGIN, J.P.  
1959-60 Le Nummulitique sud-pyrénéen à l'Ouest de l'Aragon. *Pirineos* 45, 631 p.
- MATHEY, B.  
1982 El Cretácico superior del Arco Vasco. In: *El Cretácico de España*, Universidad Complutense, 111-135.
- ORUE-ETXEBARRIA, X.  
1983 Los foraminíferos planctónicos del Paleógeno del Sinclinal de Bizkaia (corte Sopelana-Punta Galea). *Kobie* 13, 175-249.
- PERCIVAL, S.F. & FISHER, A.G.  
1977 Changes in calcareous nannoplankton in the Cretaceous-Tertiary biotic crisis at Zumaya, Spain. *Evol. Theory* 2, 1-35.
- POPE, K.O., BAINES, K.H., OCAMPO, A.C. & IVANOV, B.A.  
1994 Impact winter and Cretaceous/Tertiary extinctions. Results of a Chicxulub asteroid impact model. *Earth and Planetary Science Letters* 128, 719-725.
- PUJALTE, V., BACETA, J.I., ORUE-ETXEBARRIA, X. & PAYROS, A.  
1998 Paleocene strata of the Basque Country, western Pyrenees, northern Spain: Facies and sequence development in a deep-water starved basin. In: de GRACIANSKY, P.C., HARDENBOL, J., JACQUIN, T., VAIL, P.R. (Eds.) *Sequence Stratigraphy of European Basins*, SEPM Spec. Publ., 60: 311-325.
- PUJALTE, V., BACETA, J.I. & PAYROS, A.  
2002 Tertiary Chapter: Western Pyrenees and Basque-Cantabrian Region. In: GIBBONS, W., MORENO, T., (Eds.) *The Geology of Spain*. Spec. Publ. Geol. Soc. of London, 293-301.
- RAT, P.  
1959 *Les Pays Crétacés Basco-Cantabriques (Espagne)*. Tesis Doctoral, Publ. de la Université de Dijon, 18, 525 p.
- ROCCHIA, R., BOCLET, D., BONTÉ, P., BUFFEAUT, E., ORUE-ETXEBARRIA, X., JAEGER, J.J. & JÉHANNO, C.  
1988 Structure de l'anomalie de l'Iridium à la limite Crétacé-Tertiaire du site de Sopelana (Pays Basque spagnol). *Comp. Rend. Acad. Sci. Paris* 307, 1217-1223.
- ROCCHIA, R., ROBIN, E., CACHIER, H., LIM, B., LEROUX, H., APELLANIZ, E. & ORUE-ETXEBARRIA, X.  
1996 Impact remains in the K/T boundary sediments from the Basque Country. International Congress "The Cretaceous-Tertiary boundary: biological and geological aspects", Volumen de abstracts.
- SCOTESE, C. R.  
2001 *Atlas of Earth History, Volume 1, Paleogeography*, PALEOMAP Project, Arlington, Texas, 52 p.
- SEUNES, J.  
1891 Recherches géologiques sur les terrains secondaires et l'Eocène inférieur de la région sous-pyrénéenne de Sud-Ouest de la France (Basses Pyrénées et Landes). *Ann. Min. Paris* 18, 250 p.
- SMIT, J.  
1999 The global stratigraphy of the Cretaceous Tertiary boundary impact ejecta. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 27, p. 75-113.
- SMIT, J. & ROMEIN, A.J.T.  
1985 A sequence of events across the Cretaceous-Tertiary boundary. *Earth and Planetary Science Letters* 74, 155-170..
- WIEDMANN, J.  
1988 The Basque coastal sections of the K/T boundary. A key to understanding "mass extinction" in the fossil record. *Rev. Esp. Micropaleontología*, nº extraordinario, 127-140.