

EVENTOS DE EXTINCIÓN DEL CRETÁCICO-TERCIARIO: VALOR PATRIMONIAL Y CONSERVACIÓN DEL BARRANCO DEL GREDERO (CARAVACA, MURCIA)

Eustoquio Molina

Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza

INTRODUCCIÓN

Los eventos de extinción en masa suelen coincidir con cambios importantes de tipo sedimentológico, geoquímico y mineralógico que indican las causas que los han producido. Las extinciones en masa pueden ser catastróficas o graduales, según que se produzcan de forma casi simultánea en un corto periodo de tiempo, o de forma gradual o escalonada a lo largo de un intervalo de tiempo que puede ser de varios millones de años. Los eventos de extinción en masa catastrófica, especialmente los micropaleontológicos, son excelentes niveles guía para definir Estratotipos de Límite de Pisos o Series.

En el Cretácico y Terciario se han producido eventos de extinción en masa que han sido, o están siendo utilizados para definir cada Estratotipo de Límite en coincidencia con el nivel litológico donde se produce la extinción. Los cortes donde se observan bien estos eventos suelen tener una serie de características patrimoniales que les hace merecedores de protección y conservación. En Murcia existe un rico patrimonio geológico en el que destaca la "capa negra" de Caravaca (Arana Castillo et al., 1999). El corte de Caravaca en el barranco del Gredero ha jugado un importante papel para la definición del límite Cretácico/Terciario (K/T) y del límite Paleoceno/Eoceno (P/E). Sin embargo, su mayor importancia radica principalmente en que sirvió a Smit y Hertogen (1980) para publicar la teoría del impacto meteorítico, que habría producido la extinción en masa del límite K/T, un mes antes que el equipo de Alvarez lo hiciera basándose en el estudio del corte de Gubbio (Italia).

EL LÍMITE CRETÁCICO/TERCIARIO

El barranco del Gredero situado 3 km al sur de Caravaca, al oeste de la carretera nacional 330 en dirección a Granada, tiene su mejor acceso cerca del cementerio por un camino que discurre junto a una nave industrial, Hierros del Noroeste sl. Materiales de Construcción VIAL de Vicente Alfaro. Para la construcción de esta nave se hizo una explanada y se vertieron los escombros al barranco, muy cerca de donde se encuentra el límite K/T, lo cual casi provocó el enterramiento de este valioso afloramiento.

El lugar atrajo la atención de los geólogos desde mediados del siglo XX cuando varios especialistas franceses, Fallot et al. (1958) y Durand-Delga y Magné (1958) citaron una serie

completa del tránsito Cretácico-Terciario en este barranco, constituida por la Formación Jorquera (Van Veen, 1969). Los microfósiles fueron inicialmente estudiados por Von Hillebrandt (1974), Abtahi (1975) y Smit (1977) y los nanofósiles por Romein (1977, 1979).

Por esta época un equipo de investigadores americanos estaba trabajando en Gubbio (Italia) tratando de establecer tasas de sedimentación en el tránsito Cretácico-Terciario. Utilizaban el iridio que es relativamente abundante en los meteoritos para, según la concentración que suponían se habría depositado de forma constante por la caída de polvo meteorítico, poder establecer si la sedimentación de aquella serie carbonatada se había producido más o menos rápidamente. La litología en Gubbio es predominantemente caliza, existiendo una capa de arcilla de pocos centímetros justo en el límite K/T. Esta fina capa de arcilla resultó contener una concentración anormalmente elevada de iridio, lo cual llevó a concluir a estos investigadores que el origen de la anomalía debía explicarse por el impacto de un gran meteorito, y así lo comunicaron en un congreso en 1979. Inmediatamente, el holandés Jan Smit que estaba estudiando los foraminíferos planctónicos en Caravaca, los cuales mostraban el mismo patrón de extinción en masa que en Gubbio, se apresuró a enviar muestras para análisis de iridio y encontró la misma anomalía. Rápidamente escribió un artículo (Smit y Hertogen, 1980) para la revista *Nature*, que se publicó un mes antes de que el artículo de los americanos, liderados por Alvarez, saliera publicado en la revista *Science*. La prioridad sobre la teoría impactista pertenece al equipo americano ya que habían presentado sus conclusiones el año anterior en un congreso. Desde entonces, tanto el equipo de Jan Smit como el de Walter Alvarez han trabajado, con frecuencia de forma conjunta, para documentar la teoría impactista, lo cual ha llevado finalmente a Walter Alvarez a considerar a Smit como codescubridor de la teoría en su libro "*Tyrannosaurus rex* y el cráter de la muerte" publicado en 1997 y traducido en 1998.

Jan Smit estudió muy detalladamente el tránsito Cretácico-Terciario en Caravaca, observando que el nivel de arcilla del límite era más potente que el de Gubbio. El tránsito se encontraba en facies margosas, lo cual permitía estudiar los abundantes foraminíferos con la técnica del levigado, en lugar de con láminas delgadas como se había analizado en Gubbio y que no permitió hacer grandes precisiones. El corte de Caravaca es en este sentido mucho más apropiado que el de Gubbio para llevar a cabo estudios detallados y esto permitió a Smit (1977, 1979) descubrir una asociación intermedia de foraminíferos planctónicos entre el Cretácico Superior (Biozona de *Abathomphalus mayaroensis*) y el Terciario (Biozona de "*Globigerina*" *eugubina*) que denominó Biozona de *Guembelitra cretacea* (Smit, 1982). Esta nueva biozona comprende principalmente la arcilla oscura del límite en cuya base se produce la extinción catastrófica y simultánea de los foraminíferos planctónicos en coincidencia con un nivel rojamarillento que contiene las evidencias del gran impacto meteorítico. *Guembelitra cretacea* fue una de las pocas especies que sobrevivió a la gran catástrofe producida por el impacto. Se trata de una especie oportunista que abunda tras la gran crisis y por eso fue utilizada como fósil de zona.

El nivel de impacto en la base de la capa de arcilla oscura, además de la anómala concentración de iridio, también contiene microesferas cristalizadas en forma de feldespato potásico, que fueron interpretadas por Smit y Klaver (1981) como producidas por fusión del material impactado. Serían gotitas que habrían ascendido a la atmósfera en el momento del impacto y que se habrían depositado por todo el mundo. Estas microesferas de sanidina serían por tanto microtectitas alteradas, las cuales suponían otra prueba más a favor del impacto. Otros análisis fueron pronto realizados por Smit y Ten Kate (1982) poniendo de manifiesto un enriquecimiento de Co, Cr, Ni, As, Sb y Se, y una reducción de REE, junto con la alta concentración de iridio y osmio. Desde entonces otros estudios geoquímicos y mineralógicos han confirmado las anomalías geoquímicas. Algunos como Vannuci et al. (1990) consideraron que la predominan-

cia de esmectita en el corte de Caravaca era el resultado de la transformación de material volcánico. En este sentido, Ortega Huertas et al. (1995) no identificaron influencias extraterrestres en la arcilla del límite. Sin embargo, (Montanari et al, 1983; De Paolo et al., 1983; Rampino y Reynolds, 1983; Kyte et al., 1985; Robin et al., 1991; Schmitz, 1994; Martínez Ruiz, 1994; Martínez Ruiz et al., 1997; Shukolyukov y Lugmair, 1998; Arinobu et al., 1999) han corroborado los resultados de los colaboradores de Jan Smit y han encontrado nuevas evidencias de impacto extraterrestre.

Actualmente, la teoría del impacto de un enorme meteorito, de aproximadamente más de 10 km de diámetro, está muy bien documentada en muchos cortes distribuidos por todo el mundo. Los cortes marinos más continuos y ricos en microfósiles están en España (Agost, Caravaca, Zumaya) y Tunicia (Ain Settara, El Kef, Elles), pero en los que mejor se aprecian las evidencias del impacto meteorítico están en los alrededores del Golfo de México (El Mimbral, La Ceiba, La Lajilla, etc.). Las evidencias encontradas son concluyentes: exceso de iridio y de otros elementos, microtectitas, cuarzos de choque, espinelas de níquel, nanodiamantes, etc. Sin embargo, lo más espectacular y concluyente es el inmenso cráter encontrado enterrado bajo sedimentos terciarios en la península de Yucatan, datado en 65 m.a., y las evidencias sedimentológicas de la gran ola tipo tsunami que se encuentran por toda la región del golfo de México (Cuba, EE.UU., Haití, México, etc.).

En consecuencia, con todas estas evidencias, pocos científicos dudan del impacto de un enorme meteorito en el límite K/T hace 65 m.a. Sin embargo, aún persiste la controversia de si el impacto meteorítico fue la causa de la extinción en masa. A mediados del siglo XIX, antes de que se documentara la teoría impactista, los más prestigiosos especialistas en foraminíferos planctónicos habían puesto de manifiesto que éstos habían sufrido una extinción casi total al final del Cretácico. La extinción en masa de los foraminíferos parecía coincidir con la de otros organismos, tales como los ammonites, belemnites, rudistas y los famosos dinosaurios. Los primeros en tratar de establecer la relación de causa y efecto entre impacto y extinción fueron: Shindewolf en 1955, que propuso como causa la explosión de una cercana supernova y, especialmente, De Laubenfels en 1956, que sugería que la extinción de los dinosaurios podría ser el resultado del impacto de un gran meteorito. Sin embargo, estas hipótesis no alcanzaron el nivel de teorías al no aportar pruebas, tales como el iridio y otras evidencias.

Los dinosaurios son el grupo emblemático de esta extinción en masa pero fueron los foraminíferos planctónicos los que han permitido documentar la teoría. Ni en Gubbio ni en Caravaca existen restos de dinosaurios, sin embargo son muy abundantes los foraminíferos, tal y como habían puesto de manifiesto Hanspetei Luterbacher e Isabella Premoli Silva en Gubbio y Jan Smit en Caravaca. La correlación entre el nivel con las evidencias de impacto y la extinción de los foraminíferos es relativamente fácil, pero la correlación con los dinosaurios es muy difícil. Los dinosaurios se encuentran en terrenos continentales, donde las evidencias de impacto no están tan bien conservadas. Además, tienen un registro fósil muy poco continuo (los hallazgos de restos de dinosaurios son excepcionales) y resulta muy difícil establecer la coincidencia entre el nivel de impacto y su extinción.

Sin embargo, los foraminíferos planctónicos tienen un registro tan continuo, especialmente en Caravaca (MacLeod y Keller, 1991), que es posible hacer muestreos de alta resolución y demostrar la coincidencia entre el nivel de impacto y el de extinción. Smit (1977, 1979, 1982) inició este tipo de trabajos en Caravaca poniendo de manifiesto que sólo sobrevivió al impacto *Guembelitra cretacea* y posiblemente *Globotruncanella monmouthensis* y *Globigerinelloides messinae*. Estos datos fueron pronto cuestionados por Gerta Keller sobre el corte de El Kef y más tarde sobre el corte de Caravaca (Keller, 1994, 1996), presentando un patrón de extinción aparentemente gradual, con varias especies extinguiéndose antes del límite

y bastantes otras sobreviviendo (MacLeod y Keller, 1994). Así se inició una fuerte controversia entre Smit y Keller que otros autores han tratado de resolver. En este sentido, Canudo et al. (1991) y Canudo (1994) estudiaron el corte de Caravaca sin solucionar la controversia.

Sin embargo, otros estudios (Smit, 1993; Molina, 1994a, 1995, 1997) sugerían que el patrón gradual podría ser un artefacto de la metodología empleada, señalando dos problemas: las aparentes extinciones antes del límite podrían ser consecuencia de no haber buscado suficientemente estas especies en las últimas muestras del Cretácico y las especies sobrevivientes en los primeros centímetros del Terciario podrían ser debidas a la resedimentación alocrónica. Para investigar esto se realizaron dos tesis doctorales (Arenillas, 1996 y Arz 1996) en la Universidad de Zaragoza, demostrando que el patrón de extinción no era gradual. En este sentido se han publicado diversos trabajos (Arenillas y Arz, 1996; Arenillas y Molina, 1997; Molina et al. 1998; Arz et al., 2000; Arenillas et al., 2000; Molina et al., 2001), demostrando que la extinción en masa de más del 70% de las especies coincide exactamente con el nivel que contiene las evidencias de impacto, siendo la mayor y más súbita crisis en la historia de los foraminíferos planctónicos. Finalmente, la controversia ha quedado reducida principalmente a si las especies que se encuentran en la base del Terciario son sobrevivientes o resedimentadas. Los estudios isotópicos han permitido a Kaiho y Lamolda (1999) y Kaiho et al. (1999) poner de manifiesto que son resedimentadas, en cuyo caso la tasa de extinción de los foraminíferos planctónicos, que se extinguen súbitamente en coincidencia con el límite K/T, superaría el 90%.

Por el contrario, los pequeños foraminíferos bentónicos no sufrieron una extinción en masa en el límite K/T, pero muestran un dramático colapso medioambiental de tipo instantáneo y catastrófico en Caravaca (Coccioni et al., 1993; Coccioni y Galeotti, 1994). Cuando las condiciones medioambientales se restablecieron, la mayor parte de estos foraminíferos reaparecieron (efecto Lázaro). Según Ellen Thomas y Laia Alegret lo que realmente muestran los foraminíferos bentónicos batiales y abisales son drásticos cambios en las asociaciones según el modo de vida y alimentación, disminuyendo la diversidad de los grupos infaunales como consecuencia del colapso de la productividad primaria (Alegret en Molina et al., 2001).

El nanoplancton calcáreo también es muy abundante en Caravaca y fue estudiado por Romein (1977), Romein y Smit (1981) y Perch-Nielsen et al. (1982). Además, ha sido recientemente estudiado por Gardin y Monechi (1998), mostrando que las asociaciones mastrichtienses están muy diversificadas, no observan extinciones o apariciones en el Maastrichtiense superior y la extinción en el límite K/T es masiva e instantánea. En consecuencia, el patrón de extinción observado en el nanoplancton calcáreo de Caravaca es similar al de los foraminíferos planctónicos y es compatible con un evento catastrófico como el producido por el impacto de un gran meteorito.

EL LÍMITE PALEOCENO/EOCENO

En las últimas décadas se está intentando precisar los límites entre Series y entre Pisos geológicos, para ello se están definiendo Estratotipos de Límite que son niveles litológicos en un buen corte. Estos niveles han de coincidir con un evento importante para poder establecer la correlación a escala mundial. El límite K/T fue definido en el nivel de impacto de la base de la arcilla existente en el corte de El Kef (Tunicia) que coincide con el evento de extinción en masa. Sin embargo, el límite Paleoceno/Eoceno comenzó a estudiarse en 1989 y aunque se ha decidido situarlo coincidiendo con el evento de extinción de los pequeños foraminíferos bentónicos batiales y abisales, aún no se ha decidido en que corte se va a definir formalmente. En este sentido, el corte de Caravaca es uno de los cortes que se ha considerado, de igual forma que fue

considerado para el límite K/T.

Por los trabajos clásicos de los investigadores franceses, holandeses y alemanes se sabía que el Paleoceno y Eoceno estaban bien desarrollados en el barranco del Gredero. Sin embargo, el límite P/E no había sido situado con precisión por no conocer un evento tan neto como el del límite K/T. Después se supo que en el tránsito entre el Paleoceno y el Eoceno se produjo una extinción en masa de foraminíferos que coincidía con una anomalía en los isótopos del carbono y del oxígeno, lo cual podría ser un buen evento para definir el límite P/E. En el Congreso Geológico Internacional de Washington en 1989 se formó un grupo de trabajo para buscar un buen corte y definir el límite P/E, siendo elegidos Marie Pierre Aubry (presidenta) y Eustoquio Molina (secretario) por los miembros de la Subcomisión Internacional de Estratigrafía del Paleógeno. Se muestreó el corte de Caravaca para hacer estudios de estratigrafía integrada y evaluar sus posibilidades para definir el límite P/E. Los foraminíferos planctónicos fueron estudiados por Canudo (1990) en su tesis doctoral y por Canudo y Molina (1993). La extinción de los foraminíferos bentónicos batiales y abisales en el corte de Caravaca fue reconocida por Ortiz (1993) en su tesis doctoral. Estos datos fueron integrados con otros micropaleontológicos, geoquímicos y mineralógicos por Molina et al. (1994), poniendo de manifiesto que la extinción en masa de los pequeños foraminíferos bentónicos batiales y abisales se producía en la base de unos niveles arcillosos anóxicos, que coincidían con una anomalía negativa de los isótopos del carbono y del oxígeno, con cambios importantes en las asociaciones de otros grupos de microfósiles y cambios significativos de tipo mineralógico.

Los estudios que siguieron (Molina, 1994b, 1996; Ortiz, 1994, 1995; Canudo et al., 1995; Angori y Monechi, 1995; Molina et al., 1996, 1999, 2001; Arenillas, 1996, Guernet y Molina, 1997; Arenillas y Molina, 1997; Molina y Arenillas, 2000) han permitido conocer detalladamente lo que ocurrió en el evento del límite P/E en Caravaca hace 55 millones de años. Los cambios isotópicos indican un progresivo descenso de la productividad oceánica y un gran aumento de la temperatura. La causa del aumento de temperatura, que resulta ser la más grande de todo el Cenozoico, parece estar relacionada con cambios tectónicos que provocaron una mayor actividad volcánica, cambios en la circulación oceánica y del nivel del mar. El desplazamiento de la India hacia Asia y la apertura del Atlántico norte influyeron en el sistema de corrientes marinas, restringiendo la corriente del Tétis. Con ello se produjo un incremento de la salinidad y temperatura de estas aguas, las cuales invadieron los fondos oceánicos y se interrumpió temporalmente la llegada de aguas frías de los polos. La liberación de CO₂ produjo efecto invernadero que fue acelerado por la acumulación de CH₄ y su producto de oxidación el CO₂, procedentes de hidratos de metano acumulados en los fondos marinos. La anoxia y la subida del nivel de compensación de la calcita causaron la extinción de los foraminíferos que vivían en los fondos marinos batiales y abisales. Sin embargo, el aumento de temperatura produjo la expansión y diversificación de los organismos de las aguas superficiales y de los continentales.

Este evento está muy bien registrado en el barranco del Gredero unos 120 metros más arriba del límite K/T en la misma serie margosa de la Formación Jorquera. Se caracteriza por dos niveles grises de arcilla de disolución que se encuentran sobre un estrato calcarenítico de tipo turbidítico que contiene abundantes macroforaminíferos arrastrados desde de la plataforma. Esta corriente turbidítica produjo un hiato de 0,7 millones de años (Molina et al., 1994) lo cual es un serio inconveniente para que en este corte sea definido formalmente el Estratotipo de Límite P/E (Molina y Arenillas, 2000).

CONCLUSIONES

La gran cantidad de trabajos publicados sobre el corte del barranco del Gredero en Caravaca, los cuales se han referenciado a continuación, demuestran el gran valor patrimonial de este yacimiento y la necesidad de su conservación y protección.

Los dos eventos registrados en este corte han sido considerados para la definición de los límites K/T y P/E. En el caso del límite K/T es un corte muy continuo y expandido que fue considerado para definir el Estratotipo de Límite, pero finalmente se encontró otro más expandido en El Kef (Tunicia). El límite P/E está aún por decidir donde se definirá, pero parecen existir algunos cortes más continuos y con más posibilidades en España (Alamedilla y Zumaya) y en Egipto.

Sin embargo, el interés cronoestratigráfico no es el más grande que tiene el corte del barranco del Gredero. La gran riqueza y continuidad del registro de microfósiles, así como el excelente desarrollo y conservación de los eventos de los límites K/T y P/E le han dado fama y reconocimiento internacional.

En el caso del evento del límite K/T muestra un extraordinario registro de las evidencias del gran impacto meteorítico y de la extinción asociada, que es una de las cinco grandes extinciones que han ocurrido a lo largo de la historia de la Tierra. Así pues, este corte ha servido para documentar la teoría del impacto y establecer por primera vez la relación causa y efecto entre impacto y extinción.

El evento del límite P/E en Caravaca muestra las evidencias de una extinción que afectó de forma masiva a un grupo de foraminíferos que vivían en los fondos marinos y la expansión de otros organismos como consecuencia del gran aumento de temperatura. Las causas de este evento fueron de tipo geológico, dando lugar a un clima más cálido con efecto invernadero.

El evento del límite P/E nos pueden ilustrar sobre los muchos efectos negativos y algunos positivos que puede tener el cambio climático que se está produciendo en la actualidad, como consecuencia de la actividad humana, que parece conducir a la sexta gran extinción en masa. Por el contrario, el impacto de un gran meteorito es algo tan inusual que las probabilidades de que pronto ocurra algo similar a lo acontecido en el límite K/T son prácticamente despreciables. Finalmente, todo esto nos ilustra también sobre las causas de extinción en masa que pueden ser de tipo extraterrestre, geológico o biológico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABTAHI, M. 1975. *Stratigraphische und mikropaläontologische Untersuchung der Kreide/Alttertiär Grenze im Barranco del Gredero (Caravaca, Prov. Murcia SE-Spanien)*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Berlín. 174 p.
- ANGORI, E. y MONECHI, S. 1995. High-resolution calcareous nannofossil biostratigraphy across the Paleocene/Eocene boundary at Caravaca (southern Spain). *Israel Journal of Earth Sciences*, 44, 197-206.
- ARANA CASTILLO, R., RODRÍGUEZ ESTRELLA, T., MANCHEÑO JIMÉNEZ, M.A., GUILLEN MONDÉJAR, F. ORTIZ SILLA, R., FERNÁNDEZ TAPIA, M.T. y DEL RAMO JIMÉNEZ, A. 1999. *El patrimonio geológico de la Región de Murcia*. Interlibro, Fundación Séneca. 399 p.
- ARENILLAS I. 1996. *Los foraminíferos planctónicos del Paleoceno-Eoceno inferior: sistemática, bioestratigrafía y paleoceanografía*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza. 513 p. (publicada en 2000).
- ARENILLAS I. y ARZ J.A. 1996. Origen y filogenia de las primeras especies de foraminíferos planctó-

nicos del Paleoceno basal, tras el límite Cretácico/Terciario. XII Bienal *Real Sociedad Española de Historia Natural*. 267-272.

- ARENILLAS, I. y MOLINA, E. 1997. Análisis cuantitativo de los foraminíferos planctónicos del Paleoceno de Caravaca (Cordilleras Béticas): cronoestratigrafía, bioestratigrafía y evolución de las asociaciones. *Revista Española de Paleontología*. 12(2). 207-232.
- ARENILLAS, I., ARZ, J.A. y MOLINA, E. 2000. Spanish and Tunisian Cretaceous-Tertiary boundary sections: a planktic foraminiferal biostratigraphic comparison and evolutive events. *GFF*, 122, 11-12.
- ARINOBU, T., ISHIWATARI, R., KAIHO, K. y LAMOLDA, M. 1999. Spike of pyrosynthetic polycyclic aromatic hydrocarbons associated with an abrupt decrease in $\delta^{13}C$ of a terrestrial biomarker at the Cretaceous-Tertiary boundary at Caravaca, Spain. *Geology*. 27(8), 723-726.
- ARZ, J.A. 1996. *Los foraminíferos planctónicos del Campaniense y Maastrichtiense: bioestratigrafía, cronoestratigrafía y eventos paleoecológicos*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza. 419 p. (publicada en 2000).
- 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(1), 27-47.
- CANUDO, J.I. 1990. *Los foraminíferos planctónicos del Paleoceno-Eoceno en el Prepirineo meridional y su comparación con la Cordillera Bética*. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza. 436 p. (inédita).
- CANUDO, J.I. 1994. Bioestratigrafía y evolución de los foraminíferos planctónicos en el tránsito Cretácico-Terciario en España. In MOLINA E., Ed., Extinción y registro fósil. Extinction and the fossil record. *Cuadernos Interdisciplinarios*. 5, 140-164.
- CANUDO, J.I. y MOLINA, E. 1993. Implicaciones paleoceanográficas de las variaciones de los foraminíferos planctónicos y del isótopo $\delta^{13}C$ en el tránsito Paleoceno-Eoceno en Zumaya y Caravaca. *Comunicaciones de las IX Jornadas de Paleontología*. Málaga. 43-48.
- CANUDO, J.I., KELLER G. y MOLINA E. 1991. Cretaceous/Tertiary boundary extinction pattern and faunal turnover at Agost and Caravaca, S.E. Spain. *Marine Micropaleontology*. 17, 319-341.
- CANUDO, J.I., KELLER, G., MOLINA, E. y ORTIZ, N. 1995. Planktic foraminiferal turnover and $\delta^{13}C$ isotopes across the Paleocene-Eocene transition at Caravaca and Zumaya, Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 114, 75-100.
- COCCIONI, R. y GALEOTTI, S. 1994. K-T boundary extinction: geologically instantaneous or gradual event? Evidence from deep-sea benthic foraminifera. *Geology*. 22, 779-782.
- COCCIONI, R., FABBRUCCI, L. y GALEOTTI, S., 1993. Terminal cretaceous deep-water benthic foraminiferal decimation, survivorship and recovery at Caravaca (SE Spain). *Paleoelagos*. 3, 3-24.
- DE PAOLO, D.J., KYTE, F.T., MARSHALL, B.D. O'NEILL, J.R. y SMIT, J. 1983. Rb-Sr, Sm-Nd, K-Ca, O and H isotopic study of Cretaceous-Tertiary boundary sediments, Caravaca, Spain: evidence of an oceanic impact site. *Earth and Planetary Science Letters*. 64, 356-373.
- DURAND DELGÁ, M, y MAGNÉ, J. 1958. Données stratigraphiques et micropaléontologiques nouvelles sur le Nummulitique de l'Est des Cordillères bétiques (Espagne). *Revue de Micropaléontologie* 3, 155-175.
- FALLOT, P., DURAND DELGA, M., BUSNARDO, R. y SIGAL, J. 1958. El Cretáceo superior del sur de Caravaca (Prov. de Murcia). *Notas Com. Geol. Min. España*. 50, 283-299.
- GARDIN, S. y MONECHI, S. 1998. Palaeoecological change in middle to low latitude calcareous nanoplankton at the Cretaceous/Tertiary boundary. *Bulletin de la Société géologique de France*, 169(5), 709-723.
- GUERNET, C. y MOLINA, E. 1997. Les Ostracodes et le passage Paléocène-Éocène dans les Cordillères Bétiques (coupe de Caravaca, Espagne). *Geobios*. 30(1), 31-43.
- KAIHO, K. y LAMOLDA, M. 1999. Catastrophic extinction of planktonic foraminifera at the Cretaceous-Tertiary boundary evidenced by stable isotopes and foraminiferal abundance at Caravaca, Spain. *Geology*. 27(4), 355-358.
- KAIHO, K., KAJIWARA, Y., TAZAKI, K., UESHIMA, M., TAKEDA, N., KAWAHATA, H., ARINOBU, T., ISHIWATARI, R., HIRAI, A. y LAMOLDA, M.A. 1999. Oceanic primary productivity and

- dissolved oxygen levels at the Cretaceous/Tertiary boundary: Their decrease, subsequent warming, and recovery. *Paleoceanography*, 14(4), 511-524.
- KELLER, G. 1994. Mass extinction and evolution patterns across the Cretaceous-Tertiary boundary. In MOLINA E., Ed., Extinción y registro fósil. Extinction and the fossil record. *Cuadernos Interdisciplinares*. 5, 165-199.
- KELLER, G. 1996. The Cretaceous-Tertiary mass extinction in planktonic foraminifera: biotic constraints for catastrophe theories. In: MACLEOD N. y KELLER G., Ed., *Cretaceous-Tertiary mass extinctions: biotic and environmental changes*. Norton & Company, New York, 49-84.
- KYTE, F.C., SMIT, J. y WASSON, J.T. 1985. Siderophile interelement variations in the Cretaceous-Tertiary boundary sediments from Caravaca, Spain. *Earth and Planetary Science Letters*. 73, 183-195.
- MACLEOD, N. y KELLER, G. 1991. How complete are the K/T boundary sections? A chronostratigraphic estimate based on graphic correlation *Geological Society of America Bulletin*. 103, 1439-1457.
- MACLEOD, N. y KELLER, G. 1994. Comparative biogeographic analysis of planktic foraminiferal survivorship across the Cretaceous/Tertiary (K/T) boundary. *Paleobiology*. 20, 2, 143-177.
- MARTÍNEZ RUIZ, F.C. 1994. *Geoquímica y mineralogía del tránsito Cretácico-Terciario en las Cordilleras Béticas y en la Cuenca Vasco-Cantábrica*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. 280 pp.
- MARTÍNEZ RUIZ, F.C., ORTEGA HUERTAS, M., PALOMO, I. y ACQUAFREDDA, P. 1997. Quench textures in altered spherules from the Cretaceous-Tertiary boundary layer at Agost and Caravaca, SE Spain. *Sedimentary Geology*. 113, 137-147.
- MOLINA, E. 1994a. Aspectos epistemológicos y causas de la extinción. In MOLINA E., Ed., Extinción y registro fósil. Extinction and the fossil record. *Cuadernos Interdisciplinares*. 5, 11-30.
- MOLINA, E. 1994b. Paleocene section in Spain: chronostratigraphical problems and possibilities. *GFF, Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*: 116, 58-60.
- MOLINA, E. 1995. Modelos y causas de extinción masiva. *Interciencia*. 20, 2, 83-89.
- MOLINA, E. 1996. El límite Paleoceno/Eoceno en España: características y posibilidades. *Geogaceta*. 20(7), 1668-1671.
- MOLINA, E. 1997. Impactos meteoríticos y extinciones en masa. *Universo*. 25, 18-22.
- MOLINA, E. y ARENILLAS, I. 2000. Eventos y Estratotipos del límite Paleoceno/Eoceno. *Temas Geológico-Mineros*, 30, 141-147.
- MOLINA, E., ALEGRET, L., ARENILLAS, I., ARZ, J.A., GONZALVO, C., MARTÍNEZ RUIZ, F.C., ORTEGA HUERTAS, M., PALOMO, I. y RODRÍGUEZ TOVAR, F.J. 2001. Field-trip guide to the Agost and Caravaca sections (Betic Cordillera, Spain). In MARTINEZ RUIZ, F.C. MOLINA, E. y RODRÍGUEZ TOVAR, F.J. eds. *6th Impact Markers in the Stratigraphic Record*, Granada. 72 p.
- 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., ARENILLAS, I. y GONZALVO, C. 1996. Field trip guide to the Paleocene-Middle Eocene of Agost, Caravaca and Alamedilla sections. *Early Paleogene Stage Boundaries. International Meeting and Field Conference*. Zaragoza. 73-103.
- MOLINA, E., ARENILLAS, I. y PARDO, A. 1999. High resolution planktic foraminiferal biostratigraphy and correlation across the Paleocene/Eocene boundary in the Tethys. *Bulletin de la Société géologique de France*, 170(4), 521-531.
- MOLINA, E., CANUDO, J.I., MARTÍNEZ-RUIZ, F. and ORTIZ, N. 1994. Integrated stratigraphy across the Paleocene/Eocene boundary at Caravaca, southern Spain. *Eclogae geologicae Helvetiae*. 87(1), 47-61.
- MONTANARI, A., HAY, R.L., ALVAREZ, W., ASARO, F., MICHEL, H.V., ALVAREZ, L.W. y SMIT, J. 1983. Spheroids at the Cretaceous-Tertiary boundary are altered impact droplets of basaltic composition. *Geology*, 11, 668-671.
- ORTEGA HUERTAS, M., MARTÍNEZ RUIZ, F., PALOMO, I. y CHANLEY, H. 1995. Comparative

- mineralogical and geochemical clay sedimentation in the Betic Cordilleras and Basque-Cantabrian Basin areas at the Cretaceous-Tertiary boundary. *Sedimentary Geology*. 94, 209-227.
- ORTIZ, N. 1993. *Los microfóraminíferos bentónicos del tránsito Paleoceno-Eoceno y sus implicaciones bioestratigráficas y paleoecológicas*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, (inédita).
- ORTIZ, N. 1994. La extinción masiva de foraminíferos bentónicos batiales y abisales en el límite Paleoceno/Eoceno. In MOLINA E., Ed., *Extinción y registro fósil. Extinction and the fossil record*. Cuadernos Interdisciplinarios. 5, 201-218.
- ORTIZ, N. 1995. Differential patterns of benthic foraminiferal extinctions near the Paleocene/Eocene boundary in the North Atlantic and the western Tethys. *Marine Micropaleontology*. 26. 341-359.
- PERCH-NIELSEN, K., MCKENZIE, J. y HE, Q. 1982. Biostratigraphy and isotope stratigraphy and the "catastrophic" extinction of calcareous nannoplankton at the Cretaceous/Tertiary boundary. *Geological Society of America, Special Paper*, 190, 353-371.
- RAMPINO, M. y REINOLDS, R.C. 1983. Clay mineralogy of the Cretaceous-Tertiary boundary clay. *Science*. 219, 495-498.
- ROBIN, E., BOCKET, D., BONTE, P., FROGET, L., JEHANNO, C. y ROCHIA, R. 1991. The stratigraphic distribution of Ni-rich spinels in Cretaceous-Tertiary boundary rocks at El Kef (Tunisia), Caravaca (Spain) and Hole 761C (Leg 122) *Earth and Planetary Science Letters*. 107, 715-721.
- ROMEIN, A.J.T. 1977. Calcareous nannofossils from the Cretaceous-Tertiary boundary interval in the Barranco del Gredero (Caravaca, Murcia, SE Spain) *I and II Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen Amsterdam*, ser. B., 80(4), 256-279.
- ROMEIN, A.J.T. 1979. Lineages in early Paleocene nannoplankton. *Utrecht Micropaleontological Bulletins* 22, 18-22.
- ROMEIN, A.J.T. y SMIT, J. 1981. The Cretaceous/Tertiary boundary: calcareous nannofossils and stable isotopes. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen Amsterdam*, ser. B. 84(3), 295-312.
- SCHMITZ, B. 1994. Geochemical high-resolution stratigraphy of Cretaceous/Tertiary boundary in Denmark, Spain and New Zealand. In MOLINA E., Ed., *Extinción y registro fósil. Extinction and the fossil record*. SIUZ Cuadernos Interdisciplinarios. 5, 121-140.
- SHUKOLYUKOV, A. y LUGMAIR, G.W. 1998. Isotopic evidence for the Cretaceous-Tertiary impactor and its type. *Science*. 282, 927-929
- SMIT, J. 1977. Discovery of a planktonic foraminiferal association between the Abathomphalus mayaroensis Zone and the "Globigerina" eugubina Zone at the Cretaceous/Tertiary boundary in the Barranco del Gredero (Caravaca, SE Spain): A preliminary report. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen Amsterdam*, ser. B., - 80, 4, 280-301.
- SMIT, J. 1979. The Cretaceous/Tertiary transition in the Barranco del Gredero, Spain. In: CHRISTENSEN W.K. and BIRKELUND T. Ed., *Proc. C-T bound. events Symp.*, II, 156-163.
- SMIT, J. 1982. Extinction and evolution of planktonic foraminifera after a major impact at the Cretaceous / Tertiary boundary. *Geological Society of America, Special Paper*, 190, 329-352.
- SMIT, J. 1993. El impacto de un meteorito en Chicxulub (Yucatán) hace 65 millones de años: datos procedentes de España y consecuencias para la vida terrestre. *Tierra y Tecnología*. 4, 78-85.
- SMIT, J. y HERTOGEN J. 1980. An extraterrestrial event at the Cretaceous-Tertiary boundary. *Nature*. 285, 198-200.
- SMIT, J. y KLAVER, G. 1981. Sanidine spherules at the Cretaceous-Tertiary boundary indicate a large impact event. *Nature*. 292, 47-49.
- SMIT, J. y TEN KATE, W.G.H.Z. 1982. Trace-element patterns at the Cretaceous-Tertiary boundary. Consequences of a large impact. *Cretaceous Research*. 3, 307-332.
- VAN VEEN, G., W. 1969. *Geological investigations in the region west of Caravaca southeastern Spain*. Tesis Doctoral Universidad de Amsterdam, 143 p.
- VANNUCI, S., PANCANI, M.G., VASELLI, O. y CARADOSI, N. 1990. Mineralogical and geochemical features of the Cretaceous-Tertiary boundary in the Barranco del Gredero section (Caravaca, SE Spain). *Chem. Erde*. 50, 189-202.
- VON HILLEBRANDT, A. 1974: Bioestratigrafía del Paleógeno en el Sureste de España (provincias de Murcia y Alicante). *Cuadernos de Geología*. 5, 135-153.