

EL LÍMITE CRETÁCICO-TERCIARIO (K/T)



*El límite Cretácico-Terciario en Zumaya (Guipúzcoa).
Cretácico a la derecha y Terciario a la izquierda.*

Meléndez, A. y Molina, E. 2008. El límite Cretácico-Terciario (K/T).
In: A. García-Cortés et al. eds. Contextos geológicos españoles.
Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. 107-113.

La denominación más correcta es límite Cretácico/Paleógeno (K/Pg), como puede observarse en las últimas versiones de la escala estratigráfica internacional, ya que el Periodo equivalente al Cretácico es el Paleógeno, mientras que el Terciario ha quedado como un término informal. El estratotipo del límite K/Pg fue definido en el corte de El Kef (Túnez), aprobado por la Comisión Internacional de Estratigrafía en 1990 y recientemente revisado y definido oficialmente por Molina *et al.* (2006).

El límite K/Pg marca también el límite entre las Eras Mesozoica y Cenozoica, entre las Épocas Cretácico Superior y Paleoceno, así como entre los Pisos Maastrichtiense y Daniense. Coincide con una de las cinco grandes extinciones en masa de la historia de la Tierra, que afectó a muchos grupos de organismos, tanto marinos como continentales, entre ellos los populares dinosaurios. Este evento de extinción es muy útil para correlacionar el límite K/Pg que fue definido concretamente en la base de la arcilla oscura del corte de El Kef. Se trata de una lámina de color rojo-amarillento que contiene relevantes evidencias de un impacto meteorítico. El evento de impacto y extinción está bien registrado por todo el mundo y en varios cortes españoles, especialmente en Agost, Caravaca y Zumaya.

La relevancia de las secciones estratigráficas, o sucesiones de estratos, en las que se encuentra registrado el límite K/Pg en la península Ibérica y norte de África (figura 1), reside en que en estas secciones es donde mejor se pueden observar y estudiar las causas y los efectos de la gran crisis biológica que tuvo lugar al final del Cretácico y que afectó a las tres cuartas partes de las especies terrestres y marinas, haciendo desaparecer para siempre grupos tan dispares como los dinosaurios, ammonites, belemnites y rudistas, mientras que otros como los foraminíferos planctónicos fueron muy afectados.

Ciertos cortes españoles, debido a su excelente exposición, buena accesibilidad gran continuidad sedimentaria, riqueza fosilífera, etc., adquieren especial relevancia para el estudio del límite K/Pg y son considerados puntos de interés geológico (García-Cortés, 2000, 2001; Meléndez y Molina, 2006), especialmente los de Caravaca y Agost (Cordilleras Béticas), Zumaya (Cordillera Vasco-Cantábrica) y Fontllonga (Pirineos) (figura 2).

La interpretación de la causa que desencadenó el evento y de las causas próximas que produjeron esta gran extinción en masa han preocupado a los científicos desde el siglo XIX. Así inicialmente se propusieron hipótesis que suponían que la desaparición de los dinosaurios fue debida a la competencia con los mamíferos, o a la evolución de las plantas con flores, con las que supuestamente se habrían envenenado los dinosaurios. Además, la Tectónica de Placas y la consiguiente deriva continental aportaron una nueva visión paleogeográfica, con los consiguientes cambio eustáticos, que supuestamente habrían causado la gran

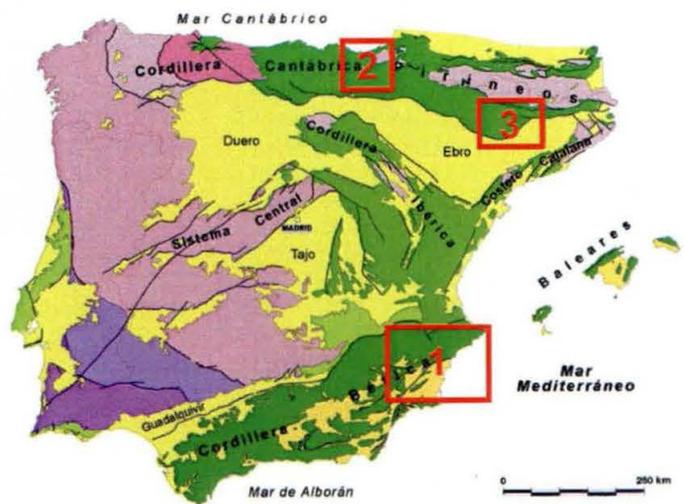
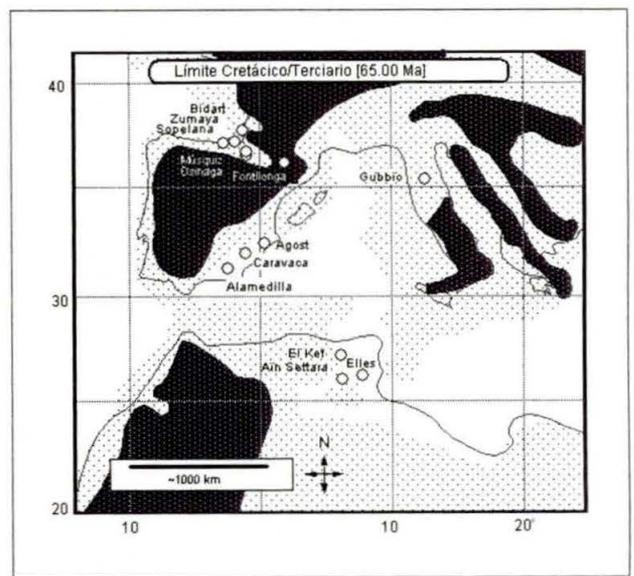


Figura 1, arriba. Situación de las secciones citadas en el texto, según la paleogeografía del tránsito K/Pg.

Figura 2, debajo. Localización de los PIGs:

- 1) Caravaca y Agost
- 2) Zumaya
- 3) Fontllonga

extinción al final del Cretácico. En este sentido, han sido muchas las hipótesis propuestas y algunas bastante absurdas como la del envenenamiento, pero en las últimas dos décadas han tenido aceptación principalmente dos: un gran impacto meteorítico y un vulcanismo intensivo.

El vulcanismo intensivo del Decan tiene grandes problemas para ser considerado como la causa desencadenante. Su máxima intensidad no coincide con el evento de extinción en masa, ya que se produjo 1 millón de años antes. El patrón de extinción tendría que ser gradual, pero resulta ser súbito y simultáneo, como se ha puesto de manifiesto con los grupos de nanofósiles y microfósiles planctónicos. Además, el vulcanismo no parece aportar un mecanismo plausible

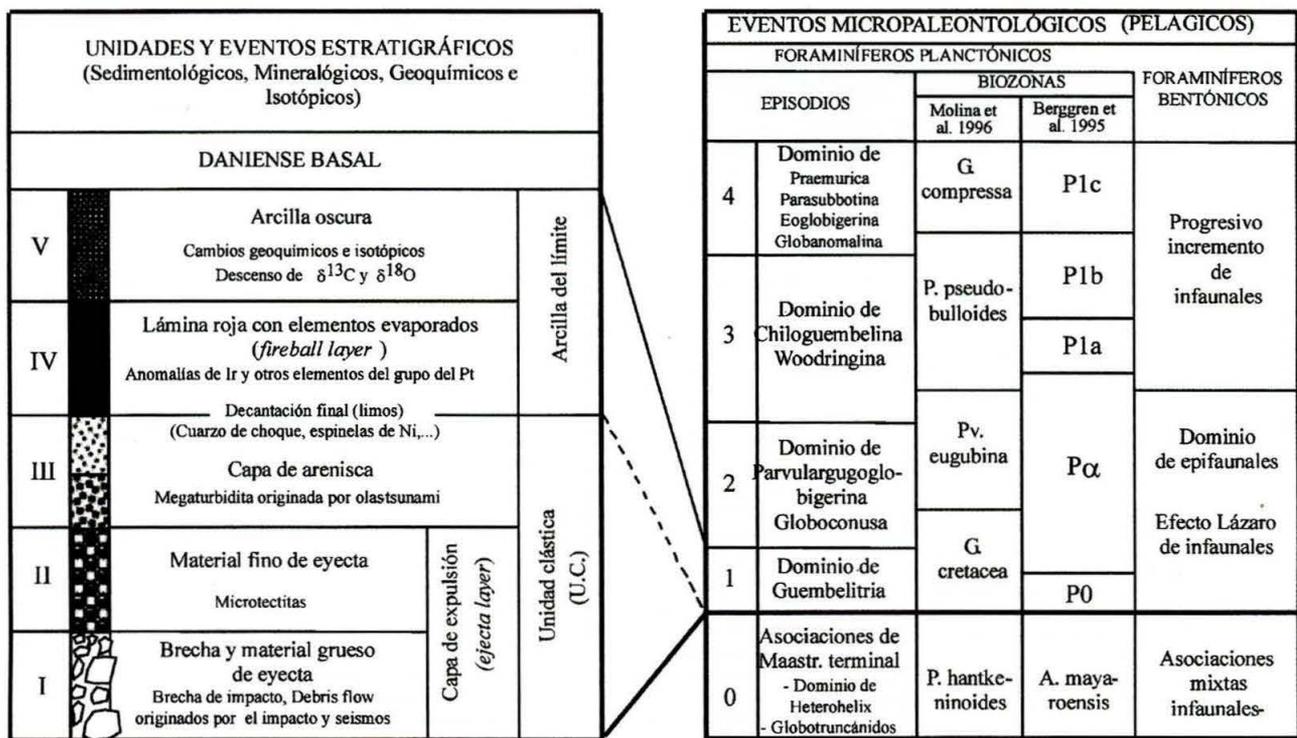


Figura 3. Correlación de unidades, eventos y episodios del tránsito K/Pg (Según Arenillas et al., 2000a).

que pudiera afectar a tantos grupos de latitudes y medios tan diferentes.

El descubrimiento de un exceso anormal de iridio, elemento frecuente en meteoritos, en el límite K/Pg de la sección de Gubbio (Italia) por Álvarez et al. (1980) y simultáneamente en la sección de Caravaca (España) por Smit y Hertogen (1980), permitió documentar una hipótesis que había surgido tímidamente algunas décadas antes. Desde 1980 otros investigadores reconocieron diversas evidencias de impacto en el mismo nivel tales como microtectitas; producidas al fundirse el material impactado, espinelas de níquel; que se formaron por las altas temperaturas alcanzadas al entrar el meteorito en la atmósfera, así como granos de cuarzo con estrías producidas por la enorme presión generada por el impacto. Éstas y otras evidencias encontradas fueron proyectadas a la atmósfera durante el impacto, y han sido encontradas en distintas partes del mundo, lo que ha llevado a desarrollar la teoría impactista del límite K/Pg, documentando la caída de un gran meteorito. El impacto sobre la superficie de la Tierra habría generado una gran nube de polvo, dificultando la fotosíntesis y provocando una gran catástrofe con consecuencias más o menos fatales para todos los seres vivos.

La localización en el Golfo de México del cráter de Chicxulub, al Norte de la península de Yucatán, con un diámetro de aproximadamente 200 km y datado en 65,5 millones de años de antigüedad, confirma con argumentos muy sólidos la teoría impactista y ayuda a entender los procesos que tuvieron lugar y su registro sedimentario. Esto junto al patrón de extinción en masa súbito permite establecer la relación de causa y

efecto entre el impacto de un gran meteorito y la extinción en masa, ya que el nivel con las evidencias de impacto coincide exactamente con el nivel en que se produce la extinción en masa (Arz et al., 2000a; Arenillas et al., 2006).

El registro sedimentario del evento es diferente en función de su proximidad o distalidad a la zona de impacto. Así, los sedimentos del límite K/Pg, en el entorno del Golfo de México (México, EE UU, Cuba, Haití, Guatemala, etc.) estarían ligados directamente a los procesos provocados por el impacto, tales como brechas, material grueso expulsado por el propio impacto, material fino con microtectitas y una capa de sedimentos arrastrados por una corriente de turbidez originada por las grandes olas de tsunami (Soria et al., 2001; Alegret et al., 2005). La decantación, en el momento inmediatamente posterior, de todas las partículas en suspensión, daría como resultado un nivel estratigráfico con las evidencias del impacto. Los depósitos proximales, con espesores métricos, se han podido correlacionar con niveles centimétricos o milimétricos encontrados en zonas distales, alejadas del impacto, que contienen un exceso anormal de iridio y otras evidencias de impacto (cuarzos de choque, microtectitas, espinelas de níquel, etc.). Inmediatamente encima de este nivel, se depositó una capa de algunos centímetros de arcilla oscura donde se han detectado grandes cambios geoquímicos: descenso en el contenido isotópico de $\delta^{13}C$ y $\delta^{18}O$, y aumento en el contenido en carbono orgánico total, que indican una importante subida del nivel de compensación de la calcita debido al descenso brusco de la productividad en los ambientes marinos planctónicos.

El evento que produjo estas evidencias, provocó la mayor y más catastrófica extinción en masa de la historia evolutiva de los foraminíferos planctónicos (Smit, 1993; Arenillas *et al.*, 2000b; Arz *et al.*, 2000b; Molina *et al.*, 2005) y una drástica modificación de las asociaciones de foraminíferos bentónicos (Alegret *et al.*, 1999). A partir de los datos anteriores y los recogidos por Arenillas *et al.* (2000a) en diversas localidades del Golfo de México, España, Italia y Norte de África, se puede establecer una secuencia marina de procesos reconocibles a escala global, separando distintos episodios en relación con las asociaciones de foraminíferos planctónicos y bentónicos (figura 3); en ella se reconocen dos Unidades fundamentales; Unidad clástica y Arcilla del límite, divididas en 5 subunidades.

La identificación, tanto de las unidades citadas como de los episodios evolutivos de los foraminíferos, dependen de la continuidad sedimentaria de cada corte, así como de su situación respecto al punto del impacto. Así, la subunidad I se localiza en cortes cercanos al cráter; la subunidad III se extiende al dominio del Golfo de México, mientras que las unidades IV y V tienen una distribución global producto de la decantación final e incluye la anomalía de iridio, espinelas, cuarzos de choque y otras evidencias de tamaño muy fino. La subunidad II o nivel de microtectitas tiene también una distribución global, aunque en cortes alejados del Golfo de México sólo aparecen pequeñas microtectitas dentro del nivel de la subunidad IV (lámina roja). En las secciones muy alejadas del punto de impacto situadas a este lado del Atlántico, no están registradas las unidades correspondientes a las evidencias más directas del impacto. Sin embargo sí presentan registrada la arcilla del límite y en su base el nivel rojo-amarillento con las evidencias mineralógicas y geoquímicas del impacto (exceso de iridio, microtectitas y espinelas de níquel).

En las secciones de Agost, Caravaca y Zumaya, se puede identificar el límite K/Pg en sedimentos procedentes de cuencas marinas profundas. Por su registro continuo y buena conservación, ha sido posible establecer el patrón de extinción en masa, catastrófico, de los foraminíferos planctónicos (figura 4). Además, en la de Zumaya se ha podido comprobar que la extinción de los ammonites no se produce antes del evento, sino que coincide con el límite K/Pg. Más difícil es reconocer la extinción en masa en sedimentos más someras, de plataforma, y sobre todo en sedimentos continentales, por la escasez de fósiles y la mayor discontinuidad del registro. Sin embargo, el reconocimiento del límite en sedimentos continentales es fundamental para establecer la relación de causa y efecto entre el impacto meteorítico y la extinción masiva de plantas y animales terrestres.

La sección de Caravaca (Murcia), situada cerca del pueblo del mismo nombre, está en el dominio externo de las Cordilleras Béticas y ofrece una sucesión marina continua desde el Cretácico Superior hasta el Eoceno Medio. La serie (figura 5) constituida por principalmente por margas y calizas margosas hemipelágicas,

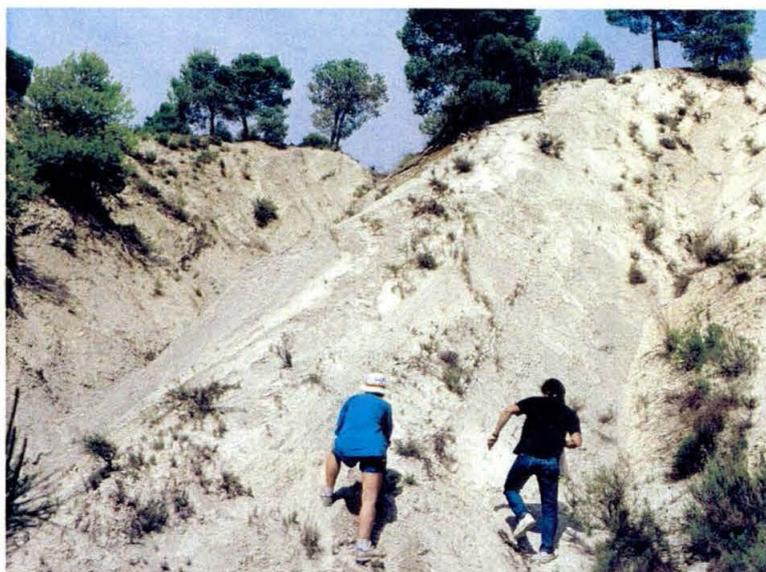


Figura 5, arriba. *Margas del Maastrichtiense y límite K/Pg (situado en el barranco de la izquierda) de Caravaca.*

Figura 6, debajo. *Detalle de la lámina rojo-amarillenta de impacto del límite K/Pg (entre dos monedas) en Caravaca.*

con intercalaciones de calizas y calciturbitas, presenta un nivel centimétrico de arcilla gris oscura, que separa el Maastrichtiense (Cretácico) del Daniense (Paleógeno), y que contiene evidencias mineralógicas, geoquímicas y de extinción en masa de foraminíferos. En la base del nivel centimétrico de arcilla gris-oscura, existe una lámina milimétrica de color rojo-amarillento (figura 6), que contiene las evidencias de impacto de un gran meteorito.

El corte de Caravaca es una de las secciones más completas, a nivel mundial, para la definición del límite K/Pg, tiene un gran valor patrimonial y se recomendó la conservación del Barranco del Gredero donde está situada (Molina, 2004). Gran parte de su importancia radica en que este corte sirvió a Smit y Hertogen

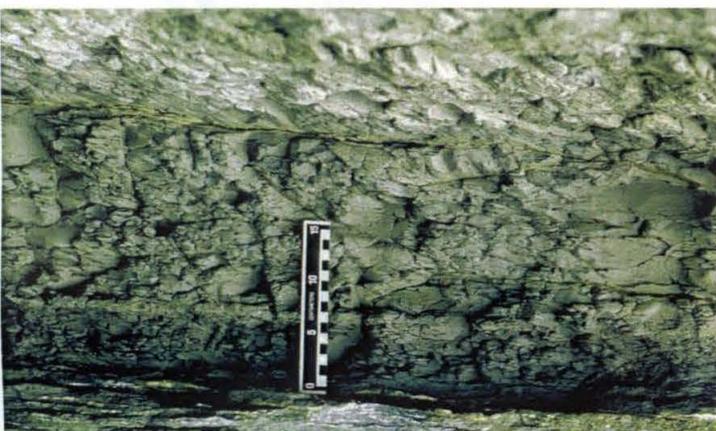
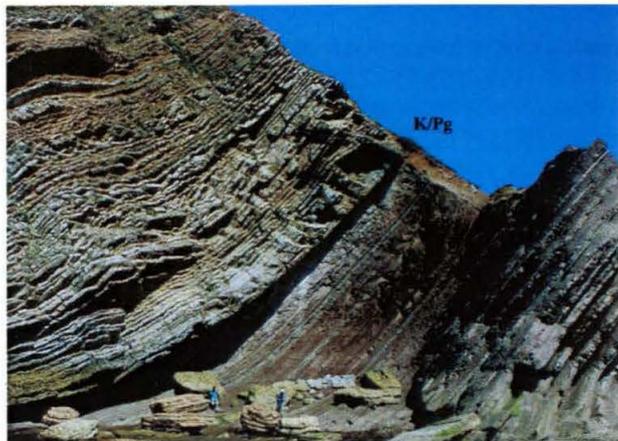


Figura 7, arriba a la izquierda. Límite K/Pg en la base de la arcilla oscura bajo las margocalizas del Daniense inferior de Agost.

Figura 8, arriba a la derecha. Límite K/Pg entre margocalizas del Maastrichtiense a la derecha y calizas del Daniense de Zumaya.

Figura 9, a la izquierda. Detalle del límite K/Pg con calcita diagenética en el nivel de impacto y arcilla del límite tras la escala en Zumaya.

(1980) para publicar la teoría del impacto meteorítico, que habría producido la extinción en masa del límite K/Pg, un mes antes de que lo hiciera el equipo de Álvarez sobre el corte de Gubbio (Italia). La prioridad científica del descubrimiento se atribuyó al equipo de Álvarez por haber presentado su propuesta en una reunión científica en 1979, aunque Walter Álvarez ha reconocido a Jan Smit como coautor de la teoría.

En la provincia de Alicante, también en las Cordilleras Béticas, se encuentran varios cortes: Agost, Finestrat y Relleu, de los cuales el corte de Agost es el más interesante y mejor estudiado porque es igual o mejor que el de Caravaca. La capa del límite K/Pg en Agost tiene unos 10 cm de potencia de arcilla gris oscura (figura 7) con una lámina limonítica en la base, de unos 2 mm de espesor y de color rojo-amarillento, que contiene las evidencias del impacto. La extinción en masa de los foraminíferos planctónicos se produce en coincidencia con el nivel que contiene las evidencias de impacto, afectando principalmente a los grupos que vivían en aguas profundas e intermedias, así como los géneros tropicales (figura 4).

En el sector central de las Cordilleras Béticas, en los alrededores del pueblo de Alamedilla (Granada), se encuentran algunos cortes que permiten estudiar el tránsito K/Pg. En estos cortes el Cretácico Superior, Paleoceno y Eoceno Inferior están representados en facies de capas rojas a diferencia de Caravaca y Agost. Se ha puesto de manifiesto la existencia de una pequeña

interrupción o laguna estratigráfica que afecta al menos a dos biozonas de foraminíferos planctónicos del límite K/Pg. Aquí el límite podría estar representado en un nivel arcilloso que aparece en algunos puntos, faltando en otros por motivos tectónicos.

En Pirineos y Cordillera Vasco-Cantábrica se encuentra el corte de Sopelana (Lamolda et al., 1983), pero el corte clásico más estudiado es el de Zumaya (Guipúzcoa), que se sitúa al Noroeste del pueblo, concretamente en el acantilado de Punta Aitzgorri (figura 8). Este corte tiene una excelente exposición y quedó en segundo lugar cuando se eligió el corte de El Kef para definir el límite K/Pg. En los acantilados de Zumaya aflora una serie estratigráfica, en facies marinas profundas, constituida por margas grises y marrones con intercalaciones de arenisca fina (techo del Maastrichtiense, Cretácico Superior), sobre las que aparece una capa centimétrica de arcilla gris oscura (límite K/Pg), y sobre ella aparecen calizas y margas (Daniense, Paleoceno).

La capa del límite K/Pg está representado por 10 cm de arcilla gris-oscura, que en su base muestra una lámina de calcita de 1-2 cm de origen diagenético (figura 9). Coincidiendo con el nivel del límite K/Pg que contiene las conocidas evidencias de impacto se ha documentado la extinción de la mayoría de las especies de foraminíferos planctónicos con un patrón de extinción que se ajusta al modelo de extinción masiva compatible con la teoría del impacto meteorítico (Arz et al., 1999).

En España, en las localidades de Arguis, Campo, Benabarre y Aren, en el Pirineo de Huesca, y Coll de Nargó, Isona y Fontllonga en el Pirineo de Lérida, se encuentran cortes de medios continentales (facies Garumnense) o marinos muy someros que contienen el tránsito K/Pg. El corte mejor estudiado es el situado en las inmediaciones del pueblo de Fontllonga, al Sur de la Sierra del Montsec (Cuenca de Ager), en el que aflora la Formación Tremp que contiene huellas y restos de dinosaurios y otros organismos terrestres. El límite K/Pg fue localizado mediante paleomagnetismo, situándolo, en un cuerpo de areniscas con abundantes huellas de dinosaurios, lo que pone de manifiesto la existencia de dinosaurios vivos justo antes del límite K/Pg (López Martínez *et al.* 1998). Aunque no se ha

encontrado la anomalía de Iridio u otras huellas directas del impacto, si se ha registrado un fuerte descenso del isótopo $\delta^{13}\text{C}$ y del $\delta^{18}\text{O}$, lo que permite relacionar esta anomalía con un evento global de cambio en los ecosistemas.

En conclusión, los cortes españoles citados anteriormente presentan un excelente registro del tránsito K/Pg, han permitido estudiar con mucho detalle el evento y averiguar las causas que desencadenaron y produjeron la extinción en masa. Estos cortes constituyen unos de los puntos más interesantes de nuestro patrimonio geológico y requieren su adecuada protección.

BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ, L.W., ÁLVAREZ, W., ASARO F. y MICHEL, H.V. (1980). Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction, *Science*, 208, 1.095-1.108.
- ALEGRET, L., MOLINA, E. y PERYT, D. (1999). Evolución de las asociaciones de microforaminíferos bentónicos en el límite Cretácico/Terciario de Ain Settara, Tunicia. *Temas Geológico-Mineros ITGE*, 26. 142-146.
- ALEGRET, L., ARENILLAS, I., ARZ, J.A., DÍAZ, C., GRAJALES, M., MELÉNDEZ, A., MOLINA, E., ROJAS, R. y SORIA, A.R. (2005). Cretaceous/Paleogene boundary deposits at Loma Capiro, central Cuba: Evidence for the Chicxulub impact. *Geology*. 33(9), 721-724.
- ARENILLAS, I., ALEGRET, L., ARZ, J.A., LIESA, C., MELÉNDEZ, A., MOLINA, E. y SORIA, A. (2000a). Secuencia estratigráfica y eventos evolutivos de foraminíferos en el tránsito Cretácico-Terciario. *Geotemas* 1 (2), 25-28.
- ARENILLAS, I., ARZ, J.A., MOLINA, E. y DUPUIS, C., (2000b). An independent test of planktic foraminiferal turnover across the Cretaceous/Paleogene boundary at El Kef, Tunisia: catastrophic mass extinction and possible survivorship. *Micropaleontology*, 46(1), 31-49.
- ARENILLAS, I., ARZ, J.A., GRAJALES, M., MURILLO, G., ÁLVAREZ, W., CAMARGO, A., MOLINA, E. Y ROSALES, C. (2006). Chicxulub impact event is Cretaceous/Paleogene boundary in age: New micropaleontological evidence. *Earth and Planetary Science Letters*. 249, 241-257.
- ARZ, J.A., ARENILLAS, I. y MOLINA, E. (1999). Extinción de foraminíferos planctónicos en el tránsito Cretácico-Terciario de Zumaya (Guipúzcoa): ¿supervivencia o reelaboración?. *Revista Española de Micropaleontología*, 31(3), 297-304.
- ARZ, J.A., ARENILLAS, I. y MOLINA, E. (2000a). El impacto de un asteroide en Yucatán y la gran extinción del límite Cretácico/Terciario. *Ciencia UANL*. 3(2), 154-159.
- ARZ, J.A., ARENILLAS, I., MOLINA, E. y SEPÚLVEDA, R. (2000b). La estabilidad evolutiva de los foraminíferos planctónicos en el Maastrichtense Superior y su extinción en el límite Cretácico/Terciario de Caravaca, España. *Revista Geológica de Chile*. 27(1), 27-47.
- GARCÍA-CORTÉS, A., RÁBANO, I., LOCUTURA, J., BELLIDO, F., FERNÁNDEZ-GIANOTTI, J., MARTÍN-SERRANO, A., QUESADA, C., BARNOLAS, A. y DURÁN, J. J. (2000). Contextos geológicos españoles de relevancia internacional: establecimiento, descripción y justificación según la metodología del proyecto Global Geosites de la IUGS. *Boletín Geológico y Minero*. 111-6, 5-38..
- GARCÍA-CORTÉS, A., RÁBANO, I., LOCUTURA, J., BELLIDO, F., FERNÁNDEZ-GIANOTTI, J., MARTÍN-SERRANO, A., QUESADA, C., BARNOLAS, A. y DURÁN, J. J. (2001). First Spanish contribution to the Geosites Project: list of the geological frameworks established by consensus. *Episodes*, 24 (2), 79-92.
- LAMOLDA, M.A., ORUE-ETXEBARRIA, X. y PROTO-DECIMA, F. (1983). The Cretaceous-Tertiary boundary in Sopelana (Biscay, Basque country). *Zitteliana*. 10, 663-670.
- LÓPEZ MARTÍNEZ, N., ARDÉVOL, L., ARRIBAS, M.E., CIVIS, J. y GONZÁLEZ DELGADO, A. (1998). The geological record in non marine environments around the K/T boundary (Tremp Formation, Spain). *Bulletin de la Société géologique de France*. 169(1), 11-20.
- MELÉNDEZ, A. y MOLINA, E. (2006). Secciones estratigráficas del límite Cretácico/Terciario. Informe final para el "Proyecto Global Geosites", IGME. (inédito).
- MOLINA, E. (2004). Eventos de extinción del Cretácico-Terciario: valor patrimonial y conservación del barranco del Gredero (Caravaca, Murcia). En F. Guillén Mondéjar y A. del Ramo eds. *Actas V Reunión Nacional de la Comisión de Patrimonio Geológico*, SGE. 41-49.
- MOLINA, E., ALEGRET, L., ARENILLAS, I. y ARZ, J.A. (2005). The Cretaceous/Paleogene boundary at the Agost section revisited: paleoenvironmental reconstruction and mass extinction pattern. *Journal of Iberian Geology*. 31(1), 135-148.
- MOLINA, E., ALEGRET, L., ARENILLAS, I., ARZ, J. A., GALLALA, N., HARDENBOL, J., von SALIS, K., STEURBAUT, E., VANDENBERGHE, N. y ZAGHBIB-TURKI, D. (2006). The Global Boundary Stratotype Section and Point for the base of the Danian Stage (Paleocene, Paleogene, "Tertiary", Cenozoic) at El Kef, Tunisia: Original definition and revision: *Episodes*, 29 (4), 263-273.
- SMIT, J. y HERTOGEN, J. (1980). An extraterrestrial event at the Cretaceous-Tertiary boundary. *Nature*, 285, 198-200.
- 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.
- SORIA, A., LIESA, C.L., MATA, M.P., ARZ, J.A., ALEGRET, L., ARENILLAS, I. y MELÉNDEZ, A. (2001). Slumping and sandbar deposits at the Cretaceous-Tertiary boundary in the El Tecolote section (Northeastern México): An impact-induced sediment gravity flow. *Geology*. 29 (3) 231-234.