

Evidencias de impacto meteorítico en el Eoceno Superior de Fuente Caldera (Granada, Cordilleras Béticas)

E. Molina¹, L.E. Cruz^{1,2}, C. Gonzalvo¹, S. Ortiz¹ y E. Robin³

1 Dpto. de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza, España. emolina@unizar.es, leacruz@unizar.es, concha@unizar.es, silortiz@unizar.es

2 Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. leacruz@uis.edu.co

3 CEA/CNRS-UMR 1572, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, 91198 Gif-sur-Yvette, Francia. robin@lsce.cnrs-gif.fr

ABSTRACT

The Fuente Caldera section has been sampled at high resolution in search of meteorite impact evidence and a Ni-rich spinel level has been found in the middle Priabonian (Late Eocene). The biostratigraphic study allowed us to precisely date the meteorite impact evidence in the lower part of the Globigerapsis index Biozone of planktic foraminifera and in the middle part of the Cibicides truncanus (BB4) Biozone of small benthic foraminifera. The impact evidence does not coincide with any planktic or benthic foraminiferal extinction events. In contrast to the Cretaceous/Tertiary boundary catastrophic mass extinction event, this meteorite impact was smaller and it did not cause any mass extinction in foraminifera.

Key words: Biostratigraphy, Priabonian, Eocene, Ni-spinel, foraminifera.

INTRODUCCIÓN

El corte de Fuente Caldera permite estudiar una serie muy potente desde el Eoceno Inferior (Ypresiense) hasta el Oligoceno (Chatiense). Su posición paleogeográfica en un surco del Subbético medio dio lugar a la acumulación de una gran cantidad de materiales caídos de la plataforma (calcuturbiditas), las cuales se encuentran intercaladas con sedimentos hemipelágicos (Comas *et al.*, 1984-85). Se trata del mejor corte español conocido de este intervalo y fue propuesto como candidato para la definición del límite Eoceno/Oligoceno (Molina, 1986). Los foraminíferos fueron estudiados por Molina *et al.* (1986), los nanofósiles por Monechi (1986) y la geoquímica por Berthenet *et al.* (1986). Sin embargo, el estratotipo del límite Eoceno/Oligoceno fue definido en Massignano (ver Gonzalvo y Molina, 1992), ya que en aquel corte italiano se encontraron niveles volcánicos que permitieron realizar dataciones de edad absoluta. Además, se encontraron anomalías de iridio y, más recientemente, un nivel con espinelas ricas en níquel (Pierrard *et al.*, 1998) que coincidía con el nivel que mostraba mayor anomalía de iridio y cuarzos de choque. Este nivel ha sido datado en $35,7 \pm 0,4$ Ma. y parece corresponder al nivel más antiguo de microtectitas encontrado por Glass *et al.* (1973) en Norte América. Estas evidencias de impacto meteorítico se han encontrado en diversas partes del mundo y la mayoría de los investigadores parecen estar de acuerdo en que existen varios niveles de impacto (Molina *et al.*, 1993). Para encontrar estos niveles de impacto meteorítico en España se ha muestreado el corte de

Fuente Caldera con una metodología de alta resolución en intervalos continuos en los 15 m alrededor del nivel donde los foraminíferos indicaban una edad relativa equivalente a los $35,7 \pm 0,4$ Ma, habiendo encontrado un nivel con espinelas ricas en níquel.

MATERIALES Y MÉTODOS

El corte de Fuente Caldera está situado en la provincia de Granada, pocos kilómetros al Norte del cerro Mencil en el término municipal de Pedro Martínez, concretamente en el barranco del Gavilán que discurre un kilómetro al Oeste del cortijo de Fuente Caldera (Fig. 1). Geológicamente esta región está enmarcada en el sector central de las Cordilleras Béticas. El corte de Fuente Caldera se encuentra en el Subbético medio y el intervalo estudiado presenta una facies de calizas turbidíticas alternantes con margas grises hemipelágicas que pertenecen a la Formación Cañada del Grupo Cardela y, tanto por encima en el Oligoceno, como por debajo en el Eoceno Medio/Superior, se han reconocido varios olistostromas (Comas *et al.*, 1984-1985). Esto indica la existencia de paleopendientes tectónicamente activas y un ámbito de sedimentación próximo a la base del talud del área fuente. Sin embargo, la serie estudiada (109 m perfectamente expuestos), perteneciente al Eoceno Superior y Oligoceno basal, no presentan ningún olistostroma y predominan las margas hemipelágicas sobre las calizas turbidíticas.

Se han realizado varios muestreos, los primeros fueron para el estudio de los foraminíferos, y el último para la búsqueda de las evidencias de impacto. Este último fue un

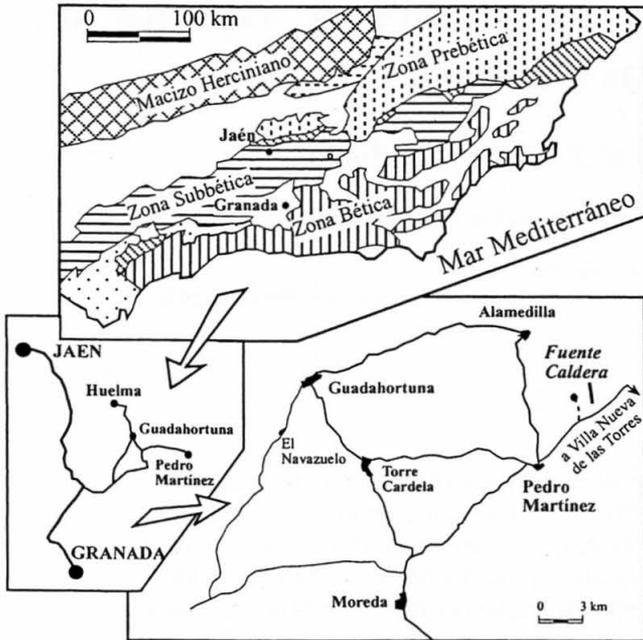


FIGURA 1. Situación geológica y geográfica del corte de Fuente Caldera.

muestreo continuo de las margas hemipelágicas, tomando 45 muestras de un intervalo de 15 m donde se suponía que debían estar las evidencias de impacto. Estas muestras fueron analizadas en el *Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement* (CEA/CNRS-UMR 1572). Por otra parte, se tomaron algunas muestras de los estratos calcareníticos para estudios preliminares sobre los macroforaminíferos. Los foraminíferos planctónicos y pequeños bentónicos han permitido establecer la bioestratigrafía y precisar el paleoambiente de formación de esta unidad. Han sido estudiados en 75 muestras tomadas en los intervalos margosos, que constituyen la litología más apropiada para este tipo de estudios. Las muestras recogidas en el campo se han preparado en el laboratorio de Micropaleontología de la Universidad de Zaragoza, mediante la técnica de levigado, utilizando mallas de 100 μm y 63 μm .

BIOESTRATIGRAFÍA

La distribución estratigráfica de las especies de foraminíferos planctónicos encontradas en este corte ha permitido reconocer la biozonación establecida por Gonzalvo y Molina (1992) para el tránsito Eoceno Superior - Oligoceno (Fig. 2). Así se han podido distinguir las siguientes biozonas:

Biozona de *Porticulasphaera semiinvoluta*

Corresponde al intervalo de extensión entre el primero y el último registro de *Porticulasphaera semiinvoluta*. El intervalo estudiado está caracterizado por 35 m de margas entre las que se intercalan 14 estratos calizos pertenecientes a la parte alta del Priabonense inferior. Está representada la parte media y

superior de esta biozona, ya que la parte inferior es muy margosa y no se ha podido muestrear por estar cultivada. Las especies más características presentes en el intervalo muestreado son *Porticulasphaera semiinvoluta*, *Porticulasphaera howei*, *Globigerinateka subconglobata*, *Globigerapsis index*, *Turborotalia pomeroli*, *Turborotalia cerroazulensis*, *Turborotalia cocoaensis* y *Subbotina transdanubica*.

Biozona de *Globigerapsis index*

Corresponde al intervalo comprendido entre el último registro de *Porticulasphaera semiinvoluta* y el último registro de *Globigerapsis index*. Está caracterizada por 37 m de margas entre las que se intercalan 19 estratos calizos pertenecientes al Priabonense medio. Las especies más características presentes en esta biozona son *Globigerapsis index*, *Globigerinateka luterbacheri*, *Hantkenina brevispina*, *Hantkenina alabamensis*, *Cribohantkenina inflata* y *Turborotalia cocoaensis*.

Biozona de *Cribohantkenina inflata*

Corresponde al intervalo comprendido entre el último registro de *Globigerapsis index* y el último registro de *Cribohantkenina inflata*. Está caracterizada por aproximadamente 10 m de margas entre los que se intercalan 3 estratos calizos pertenecientes al Priabonense medio. Las especies más características presentes en esta biozona son *Cribohantkenina inflata*, *Hantkenina brevispina*, *Hantkenina alabamensis*, *Cribohantkenina lazzarii*, *Turborotalia cocoaensis* y *Pseudohastigerina micra*.

Biozona de *Turborotalia cocoaensis*

Corresponde al intervalo comprendido entre el último registro de *Cribohantkenina inflata* y el último registro de *Turborotalia cocoaensis*. Está caracterizada por 20 m de margas entre las que se intercalan 9 estratos calizos pertenecientes al Priabonense superior. Las especies más características presentes en esta biozona son *Turborotalia cocoaensis*, *Turborotalia cunialensis*, *Hantkenina brevispina*, *Hantkenina alabamensis* y *Cribohantkenina lazzarii*.

Biozona de *Cribohantkenina lazzarii*

Corresponde al intervalo comprendido entre el último registro de *Turborotalia cocoaensis* y el último registro de *Cribohantkenina lazzarii*. Está caracterizada por 1,5 m de margas, siendo la biozona más breve establecida para caracterizar la parte más alta del Priabonense en el límite Eoceno/Oligoceno. Las especies más características son *Cribohantkenina lazzarii*, *Hantkenina brevispina* y *Pseudohastigerina micra*.

Biozona de *Paragloborotalia increbescens*

Corresponde al intervalo comprendido entre el último registro de *Cribohantkenina lazzarii* y el primer registro de

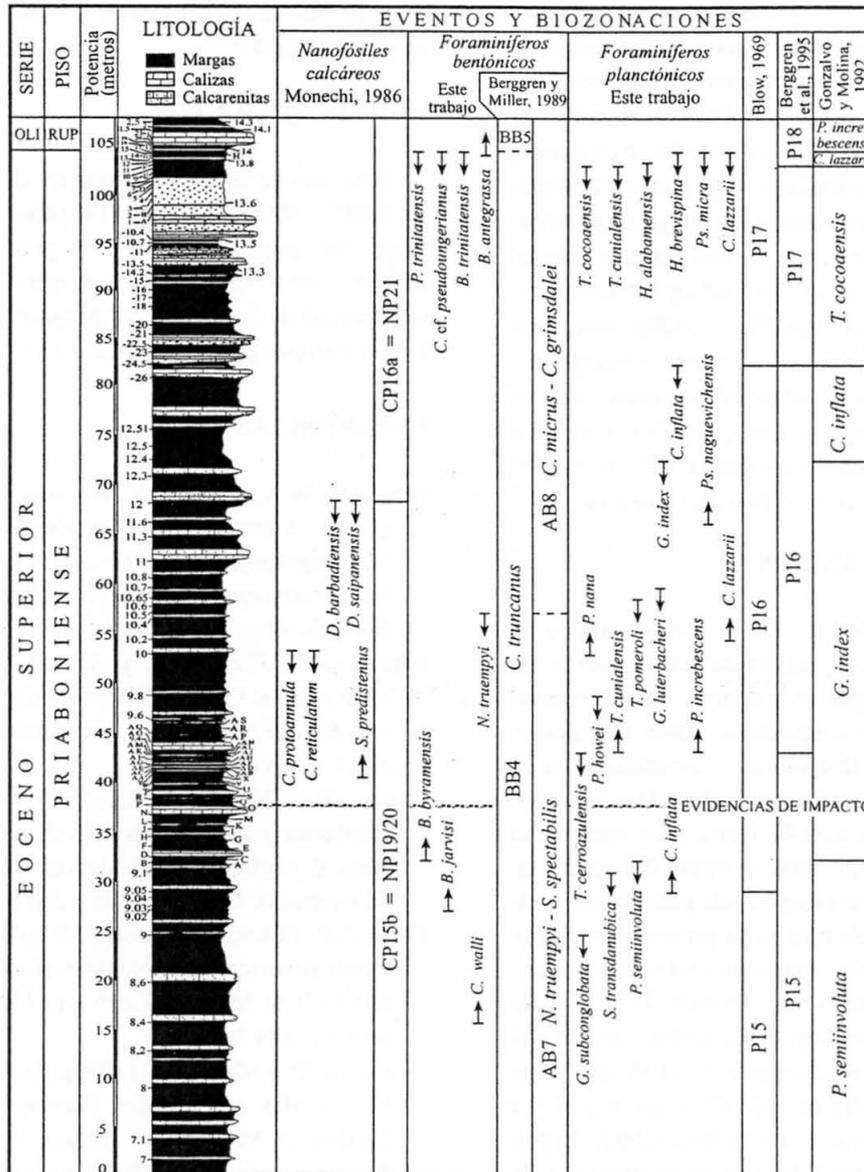


FIGURA 2. Bioestratigrafía y cronoestratigrafía del corte de Fuente Caldera.

Globigerina tapuriensis. El intervalo estudiado está caracterizado por 3 m de margas entre las que se intercala un potente estrato calizo pertenecientes al Rupeliense basal. Las especies más características son *Paragloborotalia increbescens*, *Globigerina ampliapertura*, *Pseudohastigerina naguevichiensis* y *Globigerina gortanii*. El corte continúa perfectamente expuesto hasta el Oligoceno Superior, pero este intervalo no es objeto de estudio en el presente trabajo.

RECONSTRUCCIÓN PALEOAMBIENTAL

La mayor parte de los estratos calizos turbidíticos presentan abundantes macroforaminíferos procedentes de medios ambientes someros de plataforma. Las asociaciones están caracterizadas principalmente por discociclínidos, nummulítidos, pellatispíridos, amphistegínidos y algas rojas. Los *Nummulites* y *Spiroclypeus* son raros, *Heteroste-*

gina y *Pellatispira* son frecuentes, y *Discocyclina*, *Asterocyclina* y *Actinocyclina* son abundantes. *Discocyclina* continúa presente durante el Oligoceno, siendo relevada por *Lepidocyclina* en el tránsito Rupeliense/Chatiense, tal y como ya fue puesto de manifiesto por Molina *et al.* (1986).

Los pequeños foraminíferos bentónicos se han estudiado en las margas hemipelágicas en las mismas muestras que los foraminíferos planctónicos. Las asociaciones de pequeños foraminíferos bentónicos, dominadas por especímenes de conchas calcáreas, indican un ambiente batial superior-sublitoral externo, ya que las especies de *Asterigerina* son abundantes así como otras especies típicas de medios sublitorales, tales como *Bolivinoidea crenulata*, *Angulogerina muralis*, *Cibicidoides eoacena* y *Pararotalia* spp. Las asociaciones son bastante diversas y heterogéneas y están constituidas tanto por morfogrupos infaunales como epifaunales, lo que indica un medio mesotrófico en el que el aporte de materia

orgánica era suficientemente alto y el medio estable para que ambos morfogrupos convivieran. Estas asociaciones no muestran cambios significativos en relación a las evidencias de impacto. Sin embargo, durante el Eoceno Superior se observan varias apariciones (ej. *Bolivinooides byramensis*, *Cibicidoides mexicana*) o extinciones de pequeños foraminíferos bentónicos como consecuencia del progresivo enfriamiento que dio lugar a la formación de casquetes polares en el Oligoceno. *Nuttalides truempyi* en medios batiales y abisales parece extinguirse en el límite Eoceno/Oligoceno, aunque en Fuente Caldera se encuentra muy esporádicamente y desaparece antes. *Bulimina trinitatensis* también es muy esporádica, aunque se extingue en el límite Eoceno/Oligoceno junto con *Pseudoclavulina trinitatensis*, *Cibicidoides cf. pseudoungerianus* y la aparición de *Bolivina antegrassa*.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El reciente muestreo en el perfil de Fuente Caldera ha permitido reconocer un nivel con abundantes cristales de espinelas ricas en níquel, que se interpreta como un nivel con evidencias de impacto meteorítico. Estos cristales se forman por las enormes temperaturas alcanzadas en la superficie del meteorito al entrar en la atmósfera terrestre, éstas espinelas caerían por toda la Tierra y se encuentran más concentradas que las anomalías de iridio. Por tanto, son una evidencia muy precisa del impacto de grandes meteoritos (Pierrard *et al.*, 1998). Se trata de la primera vez que se encuentran este tipo de evidencias en un corte de España.

El estudio bioestratigráfico ha permitido datar el nivel con evidencias de impacto muy precisamente dentro del Eoceno Superior y más concretamente en el Priaboniense medio, parte inferior de la Biozona de *Globigerapsis index* según la biozonación de Gonzalvo y Molina (1992). Según la biozonación de Blow el nivel de impacto se situaría en la parte inferior de su Zona P16, pero según la biozonación de Berggren *et al.* se situaría en la parte superior de su Zona P15. Según la biozonación de pequeños foraminíferos bentónicos de medios batiales el nivel se sitúa en la zona de *Cibicidoides truncanus* (BB4) de Berggren y Miller. Según la biozonación de nanofósiles calcáreos establecida por Monechi (1986) se situaría en la parte alta de la Biozona CP15b de Bukry y en la NP19/20 de Martini (Fig. 2).

Los estudios micropaleontológicos realizados en el corte de Fuente Caldera permiten afirmar que el nivel de impacto no coincide con ningún evento de extinción. Las principales extinciones son ligeramente más antiguas (parte alta de la Biozona de *Porticulasphaera semiinvoluta*) o más recientes (Biozona de *Globigerapsis index*) y especialmente en el límite Eoceno/Oligoceno. Por tanto, el impacto meteorítico no produjo extinción en masa porque no fue de una magnitud tan grande como el del límite Cretácico/Terciario. La catástrofe no afectaría a toda la Tierra, las áreas afectadas serían recolonizadas y no se produjeron extinciones en los medios marinos. La causa más probable del patrón de extinción gradual a lo largo de todo el Eoceno

Superior parece ser el progresivo enfriamiento que culminó en el Oligoceno basal.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto BTE2001-1809 del Ministerio Español de Ciencia y Tecnología, del grupo consolidado y proyecto P131/2001 del Gobierno de Aragón, de la Consejería de Educación de la Comunidad de la Rioja y del programa Alban (becas de la Unión Europea para América Latina).

REFERENCIAS

- Berggren, W.A., Kent, D.V., Swisher, C.C. y Aubry, M.P. (1995): A revised Cenozoic Geochronology and Chronostratigraphy. En: *Geochronology, time scales and global stratigraphic correlation* (W.A. Berggren *et al.*, Eds.). SEPM Special Publication, 54: 130-212.
- Berthet, F., Clauser, S. y Renard, M. (1986). Geochemistry of the Fuente Caldera section (Spain). En: *Terminal Eocene Events* (Ch. Pomerol e I. Premoli Silva, Eds.). Elsevier: 71-74.
- Comas, M.C., Martínez-Gallego, J. y Molina, E. (1984-85): Litofacies y sucesión estratigráfica del Eoceno y Oligoceno al Norte del cerro Mencil (zona Subbética, Prov. de Granada). *Cuadernos de Geología*, 12: 145-155.
- Glass, B.P., Baker, R.N., Storzer, D. y Wagner, G.A. (1973): North American microtektites from the Caribbean Sea and Gulf of Mexico. *Earth and Planetary Science Letters*, 19: 184-192.
- Gonzalvo, C. y Molina, E. (1992): Bioestratigrafía y cronoestratigrafía del tránsito Eoceno-Oligoceno en Torre Cardela y Massignano (Italia). *Revista Española de Paleontología*, 7(2): 109-126.
- Molina, E. (1986): Description and biostratigraphy of the main reference section of the Eocene/Oligocene boundary in Spain: Fuente Caldera section. En: *Terminal Eocene Events* (Ch. Pomerol e I. Premoli Silva, Eds.). Elsevier, 53-63.
- Molina, E., Gonzalvo, C. y Keller, G. (1993): The Eocene-Oligocene planktic foraminiferal transition: extinctions, impacts and hiatuses. *Geological Magazine*, 130(4): 483-499.
- Molina, E., Monaco, P., Nocchi, M. y Parisi, G. (1986): Biostratigraphic correlation between the central subbetic (Spain) and umbro-marchean (Italy) pelagic sequences at the Eocene/Oligocene boundary using foraminifera. En: *Terminal Eocene Events* (Ch. Pomerol e I. Premoli Silva, Eds.). Elsevier, 65-69.
- Monechi, S. (1986): Biostratigraphy of Fuente Caldera section by means of calcareous nannofossils. En: *Terminal Eocene Events* (Ch. Pomerol e I. Premoli Silva, Eds.). Elsevier: 53-63.
- Pierrard, O., Robin, E., Rocchia, R. y Montanari, A. (1998): Extraterrestrial Ni-rich spinel in upper Eocene sediments from Massignano, Italy. *Geology*, 26(4): 307-310.