

# Distribución de Metales Traza en Sedimentos del Límite Cretácico/Paleógeno: Implicaciones Paleoambientales

/CLAUDIA SOSA-MONTES DE OCA (1)\*/FRANCISCO JAVIER RODRÍGUEZ-TOVAR (1)/FRANCISCA MARTÍNEZ-RUIZ (2)

(1) Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Universidad de Granada, Avda. Fuentenueva s/n, 18002 Granada (España).

(2) Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, IACT, CSIC-UGR, Avda. de las Palmeras 4, 18100 Armilla, Granada (España).

## INTRODUCCIÓN

El límite entre los periodos Cretácico y Paleógeno (K/Pg)  $\approx 65.95$  Ma, está marcado por una de las mayores extinciones en masa ocurridas durante el Fanerozoico. Dicha extinción supuso la desaparición del 70 % de las especies tanto terrestres como marinas (D'Hondt, 2005) y aunque actualmente la hipótesis del impacto meteorítico propuesta por Alvarez et al. (1980) está plenamente aceptada (Schulte et al., 2010), así como la sincronización entre el impacto y la extinción (Renne et al., 2013), aún existen muchas incógnitas al respecto. Entre ellas destacan cómo respondieron los diferentes ecosistemas a los bruscos cambios medioambientales acaecidos tras el impacto y cómo y cuándo se recuperó la productividad biológica.

La dimensión del cráter (Chicxulub, Península de Yucatán, México), así como la distribución global de Iridio, han sido parámetros fundamentales para estimar, tanto el tamaño original del meteorito, aproximadamente  $10 \pm 4$  Km de diámetro, como los efectos medioambientales producidos por el mismo (Kring, 2007). Además de la gran extinción masiva, también se produjeron grandes cambios en los ambientes de depósito, especialmente en las cuencas marinas. Así, en secciones distales, donde la contribución de material extraterrestre es relativamente mayor, el límite K/Pg está marcado por importantes cambios en la composición química de los sedimentos, no solo por dicha contribución sino también debido a la mayor alteración química en áreas emergidas tras el impacto. Se alcanzaron, además, niveles de oxigenación muy bajos debido al mayor flujo de materia orgánica a los fondos oceánicos (tanto terrestre como marina), lo que también favoreció la precipitación de metales traza (Smit,

1999). Tras el depósito, prácticamente instantáneo de la lámina de sedimento que marca el límite (Artemieva & Morgan, 2009), el aporte terrígeno continuó dando lugar a una capa arcillosa de color oscuro que gradualmente va incrementando su contenido en carbonatos paralelamente a la recuperación de la productividad biológica.

Sobre esta base, conocer la rapidez con la que se restablecieron las condiciones ambientales en el medio marino es fundamental para evaluar a su vez como se produjo la recuperación de la productividad biológica.

A partir del análisis mineralógico y geoquímico a muy alta resolución de los sedimentos de esta edad, integrado con el estudio icnológico, se pretende establecer las condiciones paleoambientales tras el impacto, al comienzo del Paleógeno, y con ello los patrones de recuperación de la productividad biológica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los sedimentos del límite K/Pg se han analizado en la sección de Caravaca ( $38^{\circ}04'36.39''N$ ,  $1^{\circ}52'41.45''W$ , Murcia) (Fig. 1), una de las mejor conocidas y más completas de esta edad. Sobre la base de su continuidad y la ausencia de hiatos de rango bioestratigráfico, el intervalo del límite K/Pg registra las condiciones deposicionales del Cretácico superior (Maastrichtiense), del propio límite K/Pg (ejecta layer) y del Paleógeno inferior (Daniense). Dicho intervalo se ha muestreado a escala milimétrica. Teniendo en cuenta las tasas de sedimentación de  $3.1 \text{ cm Kyr}^{-1}$  para el Maastrichtiense y de  $1.8 \text{ cm Kyr}^{-1}$  para el Daniense (Kaiho et al., 1999), el rango temporal que abarca el intervalo

analizado oscila entre 400 años antes del límite y 3.750 años después del límite (Sosa-Montes de Oca et al., 2013).



fig 1. Ubicación del afloramiento estudiado.

Los elementos mayores y trazas se han analizado mediante Espectroscopia de Absorción Atómica (AA) y Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS), en el Centro de Instrumentación Científica de la Universidad de Granada. Las muestras se molieron en un mortero de ágata y a continuación se precedió a su digestión con  $\text{HNO}_3 + \text{HF}$ . Las concentraciones de elementos traza han sido normalizadas con Al para evitar los efectos de los cambios litológicos y de concentración en carbonatos en los sedimentos de esta edad.

Los datos de composición química se integran, además, con datos icnológicos (Rodríguez-Tovar & Uchman, 2008), con la finalidad de poder comparar el restablecimiento de los niveles de oxigenación interpretado a partir de los datos geoquímicos, con la adaptación y recuperación de los organismos macrobentónicos generadores de trazas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La distribución de elementos mayores y traza en los sedimentos analizados registra los profundos cambios en las condiciones paleoambientales como resultado del evento catastrófico del límite K/Pg. Así, la evolución del

**palabras clave:** Límite Cretácico-Paleógeno (K/Pg), indicadores redox, cambios paleoambientales, condiciones de oxigenación, productividad biológica.

**key words:** Cretaceous-Paleogene (K/Pg) boundary, redox proxies, paleo-environmental changes, oxygenation conditions, biological productivity.

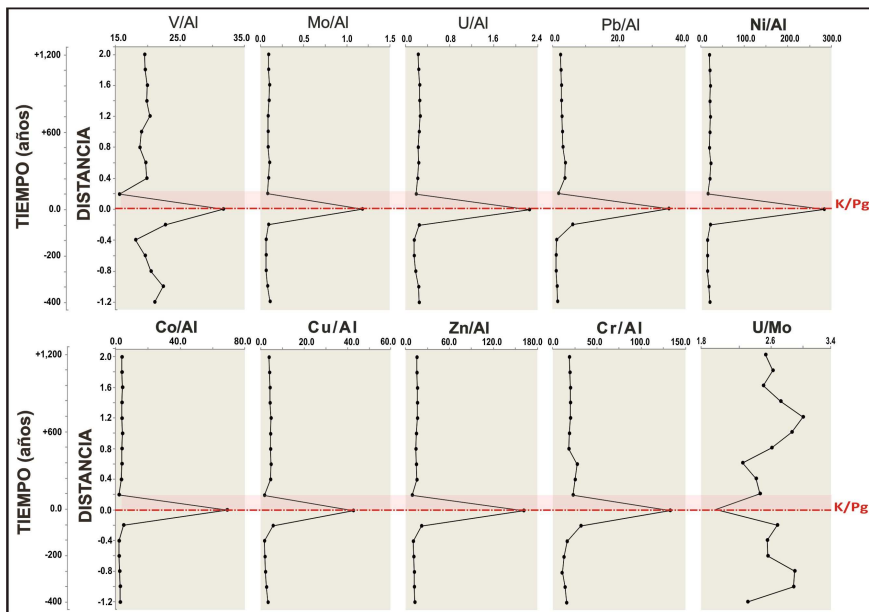


fig 2. Indicadores de paleoxigenación. Perfiles de enriquecimiento/empobrecimiento a lo largo del límite K/Pg de la sección de Caravaca (concentraciones normalizadas a Al \* 10<sup>4</sup>). (Modificado de Sosa-Montes de Oca et al., 2013).

contenido en metales traza (Fig. 2), indica que la recuperación, en términos de oxigenación, de las condiciones pre-impacto se registra a una distancia entre 0.2-0.3 cm sobre la lámina de sedimento que marca el límite. De acuerdo con la tasa de sedimentación propuesta (Kaiho et al., 1999), correspondería a un tiempo máximo de recuperación inferior a 375 años (en el orden de 10<sup>2</sup> años). Este valor es de varios órdenes de magnitud más bajo que los tradicionalmente considerados (10<sup>4</sup>-10<sup>5</sup> años; Coccioni & Galeotti, 1994; Adams et al., 2004).

Estos resultados están en consonancia con la rápida recuperación interpretada para la comunidad macrobentónica bioturbadora, basada en la presencia de esférulas de óxidos de Fe en el material de relleno de *Thalassinoides* en la sección de Agost (Rodríguez-Tovar, 2005), en la alteración por bioturbación de la capa de 2-3 mm del límite K/Pg en Caravaca (Rodríguez-Tovar & Uchman, 2008) y Bidart (Rodríguez-Tovar et al., 2010) y en el análisis isotópico de δ<sup>13</sup>C realizado en el material daniense que rellena trazas registradas en sedimentos cretácicos de Agost (Rodríguez-Tovar et al., 2004, 2006). Este material de relleno de las trazas posee valores isotópicos de δ<sup>13</sup>C que se corresponden, o bien con los valores típicos del propio límite K/Pg (1.00-1.30‰), o con los propios de los intervalos estratigráficos de 2.5-5.0 cm o de 7.0-11.0 cm sobre el límite K/Pg (0.32-0.47‰ y 0.69-0.79‰, respectivamente).

## CONCLUSIONES

Apoyándonos en la integración de los datos geoquímicos obtenidos en el perfil de Caravaca y de los datos icnológicos en diferentes secciones del límite K/Pg, podemos concluir que:

- (1) las condiciones de oxigenación del medio se restablecieron muy rápidamente tras el impacto, casi instantáneamente a escala geológica, en un rango de pocos cientos de años, lo cual supone un tiempo de recuperación mucho menor que lo que se había considerado hasta el momento (10<sup>4</sup>-10<sup>5</sup> años).
- (2) durante el restablecimiento de las condiciones de oxigenación se inicia la colonización del medio bentónico por organismos bioturbadores.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por los proyectos CGL2012-33281 y CGL2012-32659 (Secretaría de Estado de I+D+I, España), por los proyectos RNM-3715 y RNM 05212 y por los grupos de investigación RNM-178 y 0179 (Junta de Andalucía).

## REFERENCIAS

Adams, J.B., Mann, M.E., D'Hondt, S. (2004): The Cretaceous-Tertiary extinction: Modeling carbon flux and ecological response. *Paleoceanography*, **19**, 1002.  
 Alvarez, L.W., Alvarez, W., Asaro, F., Michel, H.V. (1980): Extraterrestrial cause for the

Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, **208**, 1095-1108.  
 Artemieva, N., Morgan, J. (2009): Modeling the formation of the K-Pg boundary layer. *Icarus*, **201**, 768-780.  
 Coccioni, R. & Galeotti, S. (1994): K/T boundary extinction: Geologically instantaneous or gradual event? Evidence from deep-sea benthic foraminifera. *Geology*, **22**, 779-782.  
 D'Hondt, S. (2005): Consequences of the Cretaceous/Paleocene mass extinction for marine ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **36**, 295-317.  
 Kaiho, K., Khajivara Y., Tazaki K., Ueshima M., Takeda N., et al. (1999): Oceanic primary productivity and dissolved oxygen levels at the Cretaceous/Tertiary boundary: Their decrease, subsequent warming, and recovery. *Paleoceanography*, **14**, 511-524.  
 Kring, D.A. (2007): The Chicxulub impact event and its environmental consequences at the Cretaceous-Tertiary boundary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **255**, 4-21.  
 Renne, P.R., Deino, A.D., Hilgen, F.J., Kulper, K.F., Mark, D.F., et al. (2013): Time scales of critical events around the Cretaceous-Paleogene boundary. *Science*, **339**, 684-687.  
 Rodríguez-Tovar, F.J. (2005): Fe-oxide spherules infilling *Thalassinoides* burrow at the Cretaceous/Paleogene (K/P) boundary: Evidence of a near-contemporaneous macrobenthic colonization during the K-P event. *Geology*, **33**, 585-588.  
 —, Martínez-Ruiz, F., Bernasconi, S.M. (2004): Carbon isotope evidence for the timing of the Cretaceous-Paleogene macrobenthic colonisation at the Agost section (southeast Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **203**, 65-72.  
 —, —, —, (2006): Use of high-resolution ichnological and stable isotope data for assessing completeness of a K-P boundary section, Agost, Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **237**, 137-146.  
 —, Uchman, A. (2008): Bioturbational disturbance of the Cretaceous-Paleogene (K-Pg) boundary layer: Implications for the interpretation of the K-Pg boundary impact event. *Geobios*, **41**, 661-667.  
 —, —, Molina, E., Monechi, S. (2010): Bioturbational redistribution of Danian calcareous nannofossils in the uppermost Maastrichtian across the K-Pg boundary at Bidart, SW France. *Geobios*, **43**, 569-579.  
 Smit, J. (1999): The global stratigraphy of the Cretaceous-Tertiary boundary impact ejecta. *Annual Review of Earth and Planetary Science*, **27**, 75-113.  
 Schulte, P., Alegret, L., Arenillas, I., Arz, J.A., Barton, P.J., et al. (2010): The Chicxulub Asteroid Impact and Mass Extinction at the Cretaceous-Paleogene Boundary. *Science*, **327**, 1214-1218.  
 Sosa-Montes de Oca, C., Martínez-Ruiz, F., Rodríguez-Tovar, F.J. (2013): Bottom-water conditions in a marine basin after the Cretaceous-Paleogene impact event: Timing the recovery of oxygen levels and productivity. *Plos One*, **8** (12), e82242.