

PATRIMONIO PALEONTOLÓGICO DEL MUNICIPIO DE AGOST (ALICANTE-ESPAÑA). SECCIONES DEL CRETÁCICO Y EL PALEÓGENO

Miguel ESCRIBANO IVARS¹
Ignacio GARCÍA SANZ¹.

¹Departament de Botànica i Geologia, Universitat de València. Facultat de Biologia, C/ Dr. Moliner 50, 46100 Burjassot. Valencia. España. miguel.escribano.ivars.1324@gmail.com; nacho8687@gmail.com

RESUMEN: en este artículo realizamos una breve descripción al patrimonio paleontológico del municipio de Agost, haciendo especial mención a las secciones del límite K/Pg y a las del límite Ypresiense-Luteciense, destacando la importancia patrimonial de estas localidades con el objetivo de demostrar su valor intrínseco y contribuir a su preservación.

RESUM: en aquest article fem una breu descripció al patrimoni paleontològic del municipi d'Agost, fent especial menció de les seccions del límit del K/Pg i del les del límit Ipresità-Lutecià, destacant la importància patrimonial d'aquestes localitats amb l'objectiu de demostrar el seu valor intrínsec i contribuir a la seua preservació.

SUMMARY: in this article we undertook a brief review of the palaeontological heritage within the township of Agost, giving special attention to the K/Pg boundary sections as well as the Ypresian-Lutetian boundary section, focusing on the patrimonial value of this localities, with the objective to showcase their inherent value and contribute to its preservation.

Palabras clave: patrimonio; Luteciense; Cretácico; Estratotipo.

Paraules clau: patrimoni; Lutecià; Cretàcic; Estratotip.

Keywords: heritage; Lutetian; Cretaceous; Stratotype.

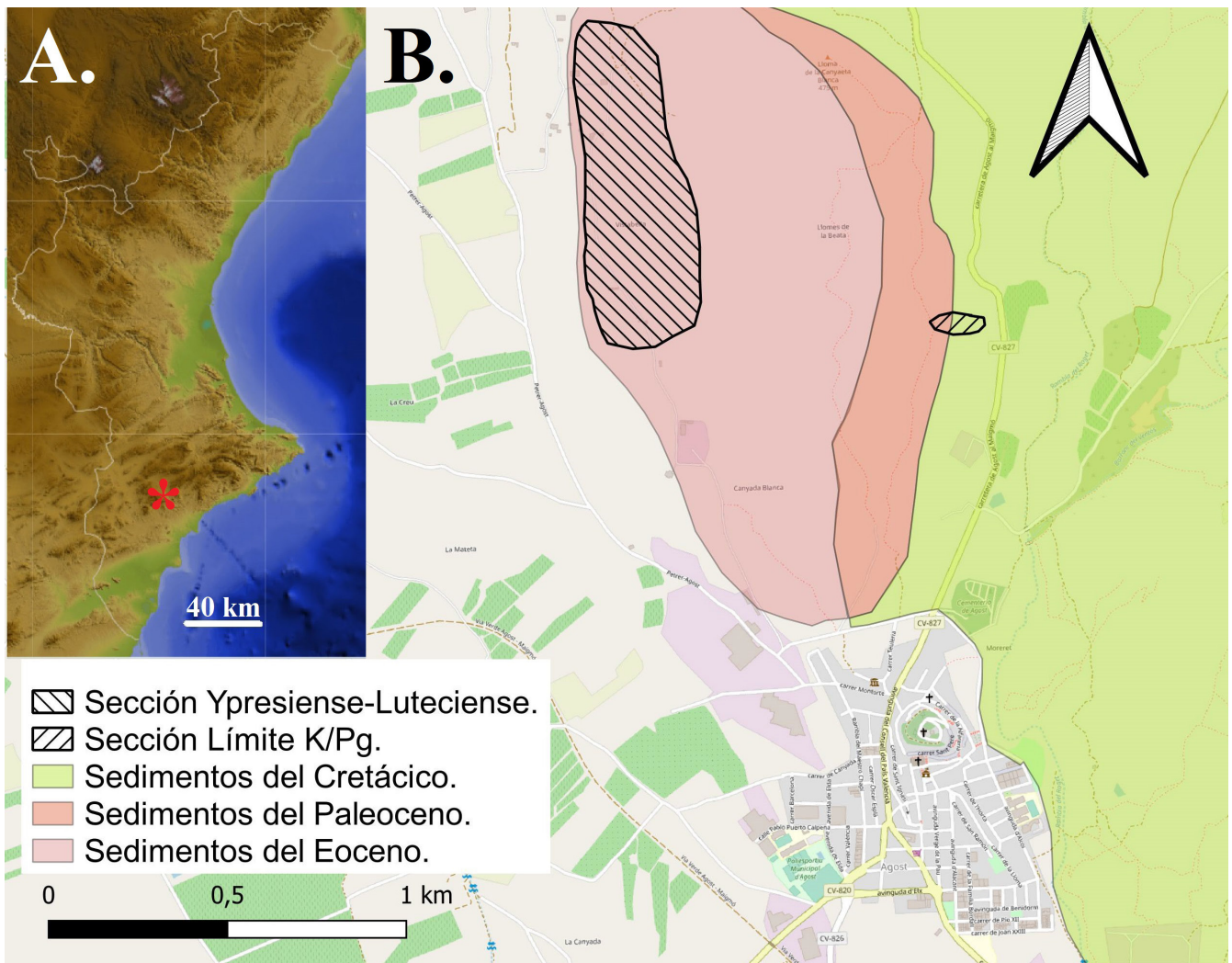


Figura 1. A. Ubicación del municipio de Agost. B. Mapa de detalle del área de estudio. Incluye la localización y extensión aproximada de las secciones estudiadas, así como la extensión de los afloramientos del Cretácico y Paleógeno.

1. INTRODUCCIÓN

El municipio de Agost se encuentra situado en el oeste de la comarca de l'Alacantí, a unos 18 kilómetros en dirección noroeste de la capital provincial (Alicante, España).

Cercano a un kilómetro al norte de este municipio, en los cerros de las “Llomes de la Beata” y la “Lloma de la Canyeta Blanca”, se han identificado varios afloramientos con un importante patrimonio geológico, entre los que caben destacar la sección del límite K-Pg, en la cual se ha identificado los niveles de arcillas negras ricas en iridio característicos de este evento, así como evidencias de la crisis biótica asociada con este límite, junto a las secciones del Eoceno, situadas aproximadamente a

0,5 km al oeste de la primera (fig. 1), en la cual se ha identificado el límite Ypresense-Luteciense (Eoceno inferior-Eoceno medio) en base a indicadores bioestratigráficos y cronoeestratigráficos (Larrasoña, J. C.; Gonzalvo, C.; Molina, E. *et al.*, 2008).

La cronología de estas secciones y la calidad de sus afloramientos, contribuyen a que ambas tengan un elevado valor patrimonial. Siguiendo la normativa española en la Ley 42/2007, de 13 de diciembre del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, las definiciones y mecanismos legislativos que se pueden emplear para la catalogación y protección del patrimonio natural, el cual incluye entre otros elementos las formaciones y estructuras geológicas, formas del terreno, minerales, rocas,

meteoritos, fósiles y suelos, los cuales en conjunto constituyen el patrimonio geológico. En el marco de esta normativa se creó el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG), con el objetivo de catalogar y evaluar los elementos más importantes del patrimonio geológico a nivel nacional, asignándoles una prioridad en base a una metodología en la cual se valora su interés bajo criterios científicos, didácticos y recreativos, a si como de vulnerabilidad y su fragilidad (García-Cortés, Á; Carcavilla, L.; Díaz-Martínez, E. *et al.*, 2014) (tabla 1). La sección del límite K-Pg de Agost estuvo entre los primeros lugares de interés geológico en incluirse en el inventario en el año 2007, antes de que se desarrollara la metodología para la evaluación de los

LIGs (PT003. Geosite KT003. Nivel de arcilla del límite K/T en Agost). Más recientemente, la sección del límite K-Pg y sus alrededores ha recibido protección a nivel autonómico mediante su declaración como monumento natural (Decreto 45/2020)

En este trabajo realizaremos una breve descripción de las características de estas secciones, mostrando su valor patrimonial desde un contexto tanto a nivel local como global, permitiendo poner en valor como el estudio de su estratigrafía y su contenido fósil nos permite expandir nuestro conocimiento de la historia de la vida en la Tierra, y por consiguiente, su importancia desde un punto de vista patrimonial, justificando la importancia de su conservación y preservación.

Valoración del interés científico, didáctico y turístico o recreativo			
Parámetros	Valor científico	Valor didáctico	Valor turístico
Representatividad	× 30	× 5	× 0
Carácter de localidad tipo	× 10	× 5	× 0
Conocimiento científico	× 15	× 0	× 0
Estado de Conservación	× 10	× 5	× 0
Condiciones de observación	× 10	× 5	× 0
Rareza	× 15	× 5	× 0
Diversidad	× 10	× 10	× 0
Contenido didáctico	× 0	× 20	× 0
Infraestructura logística	× 0	× 15	× 5
Densidad de población	× 0	× 5	× 5
Accesibilidad	× 0	× 10	× 10
Tamaño del LIG	× 0	× 5	× 15
Otros elementos patrimoniales	× 0	× 5	× 5
Espectacularidad o belleza	× 0	× 5	× 20
Contenido divulgativo	× 0	× 0	× 15
Potencial turístico/recreativo	× 0	× 0	× 5
Proximidad a zonas recreativas	× 0	× 0	× 5
Entorno socioeconómico	× 0	× 0	× 10
Sumas	lc	ld	lt
Valoración de la fragilidad			
Parámetros	Valor de ponderación		
Tamaño del LIG	× 40		
Vulnerabilidad al expolio	× 30		
Amenazas naturales	× 30		
Sumas	F		
Valoración de la vulnerabilidad por amenazas antrópicas			
Proximidad a actividades antrópicas	× 20		
Interés para la explotación minera	× 15		
Régimen de protección del lugar	× 15		
Protección física o indirecta	× 15		
Accesibilidad	× 15		
Régimen de propiedad del lugar	× 10		
Densidad de población	× 5		
Proximidad a zonas recreativas	× 5		
Sumas	A		
Prioridad de protección global	$[(lc + ld + lt) / 3]^2 \times [(F \times A) \times 1 / 400] \times 1 / 400^2$		

Tabla 1. Resumen simplificado de la metodología empleada para la valoración de Lugares de Interés Geológico, incluye los criterios a evaluar y los valores de ponderación así como el cálculo de la prioridad de protección global, pero no los criterios para puntuar cada parámetro de 0 a 4. Modificado de (García-Cortés, Á; Carcavilla, L.; Díaz-Martínez, E. *et al.*, 2014).

2. SECCIÓN DEL LÍMITE K-Pg

La sección del límite K-Pg, también conocida más informalmente como la “capa negra de Agost”, es, junto con las secciones de Zumaia (País Vasco) y Caravaca de La Cruz (Murcia), uno de los afloramientos con características más adecuadas para el estudio del límite entre el Cretácico y el Paleógeno en toda España (Larrasoña, J. C.; Gonzalvo, C.; Molina, E. *et al.*, 2008).

A nivel global el límite K-Pg se caracteriza por una fina capa ferruginosa de color rojizo (2-3 mm en la sección de Agost), superpuesto por niveles de arcillas negras (de hasta 12 cm en Agost). A finales del Cretácico, hace 66.043 ± 0.011 millones de años en base a estudios radiométricos recientes (Renne, P. R.; Deino, A. L.; Hilgen, F. J. *et al.* 2013), tuvo lugar la última de las cinco grandes extinciones masivas, en la cual tuvo lugar la desaparición total de los dinosaurios no avianos, pterosaurios, la mayoría de grupos de reptiles marinos y los amonites, así como una elevada tasa de extinción en mamíferos, aves, lagartos, peces óseos, plantas y foraminíferos entre otros muchos grupos (Jablonski, D. & Chaloner, W. G. 1994). Las causas de esta extinción fueron motivo de fuerte debate, entre las hipótesis propuestas destacaban los relacionados con cambios en el clima, la atmósfera o en el nivel del mar, si bien no existía un firme consenso sobre los posibles mecanismos desencadenantes (Tappan, H., 1968) (McLean D. M., 1978). En los años 80 se propuso, en base a la presencia de iridio en el límite K-Pg, que el impacto de un gran bólido como mecanismo de extinción (Álvarez, L. W.; Álvarez, W.; Asaro, F. *et al.*, 1980) Afianzándose esta hipótesis con el descubrimiento posterior de un cráter de impacto en la plataforma continental de la Península de Yucatán (Méjico) , que es actualmente la que cuenta con un mayor consenso (Schulte, P.; Alegret, L.; Arenillas, I. *et al.* 2010). Por otro lado, aún existe un intenso debate sobre si las grandes erupciones basálticas a finales del Maastrichtense y principios del Daniense en la actual meseta del Decán (India), pudieron haber contribui-

do a la pérdida de biodiversidad a nivel global (Alessandro-Chiarenza, A.; Farnsworth, A.; D. Mannion, P. *et al.* 2020); (Gu, X.; Zhang, L.; Yin, R. *et al.* 2022).

Aunque la sección del límite K-Pg en Agost fue estudiada por primera vez a principios de los años 70 (Leclerc, J. 1971), el estudio sistemático del límite K-Pg empezó a finales de los 80 y principios de los 90 (Groot, J. J.; de Jonge, R. B. G.; Langereis, C. G. *et al.* 1989) (Smit, J. 1990). Estos estudios permitieron estimar la edad del límite en base a estimaciones de la tasa de sedimentación y mediante correlación magnetoestratigráfica (Groot, J. J.; de Jonge, R. B. G.; Langereis, C. G. *et al.* 1989). Además, el estudio del registro fósil de foraminíferos de esta sección ha jugado un papel importante en el debate sobre las causas, mecanismos y temporalidad del evento de extinción a finales del Cretácico, con las conclusiones de estos estudios teniendo implicaciones a nivel mundial.

Uno de los debates más importantes gira en torno a la respuesta de los foraminíferos planctónicos al evento de extinción, con fuertes discrepancias con respecto a la severidad y temporalidad de las extinciones en este grupo. Algunas estudios identificaron una extinción abrupta, poco selectiva y casi total de los foraminíferos planctónicos tras la deposición del límite K-Pg (Smit, J., 1990), mientras que otros estudios apuntaban a un proceso más gradual, con una tasa de extinción por encima de lo normal durante un intervalo de tiempo antes y después del límite K-Pg a causa de una elevada inestabilidad ambiental, y argumentando por un pico de extinciones menos intenso y más selectivo en el propio límite K-Pg (Canudo, J. I.; Keller, G. & Molina, E., 1991) (Pardo, A.; Ortiz, N.; Keller, G., 1996). Estudios más recientes concluyen que la mayor parte de extinción entre los foraminíferos planctónicos en este intervalo de tiempo coinciden claramente con los estratos ferruginosos del límite K-Pg, si bien fue un proceso selectivo con la supervivencia de múltiples especies pequeñas, generalistas y de aguas superficiales. Al mismo tiempo, no encontraron evidencias sólidas de una mayor tasa de extinciones

antes o después del límite, con la aparente desaparición de algunas especies anterior a este como posible resultado de un sesgo en el registro fósil y la aparente supervivencia de otras como resultado de la reelaboración (Molina, E.; Arenillas, I.; Arz, J. A., 1998) (Arz, J. A.; Arenillas, I.; Molina, E. *et al.* 1999) (Molina, E.; Alegret, L.; Arenillas, I. *et al.* 2004).

El estudio de los foraminíferos bentónicos ha permitido interpretar tanto las condiciones ambientales en las que se formaron los sedimentos de la sección como la respuesta de estos taxones al evento de extinción del límite K-Pg. (Pardo, A.; Ortiz, N. & Keller, G., 1996). En los primeros estudios paleobatimétricos realizados en la sección de Agost, se identificó una transgresión marina (incremento del nivel del mar), que se estima tuvo lugar hace entre 50.000 y 100.000 años antes del evento de extinción, resultando en una transición de un ambiente nerítico externo a un ambiente batial superior, así como dos importantes regresiones (descensos del nivel del mar) inmediatamente después del límite K-Pg, lo cual se interpretó como evidencias de un elevado estrés en el ecosistema antes y después del límite K-Pg, así como un posible indicador de que estos cambios del nivel del mar fueron a escala global (Pardo, A.; Ortiz, N. & Keller, G., 1996). En estudios posteriores, se estima que la transgresión marina tuvo lugar entre 150,000 a 120,000, y resultó en una transición de un ambiente batial superior a un ambiente batial medio, y se descartó que hubiese fluctuaciones en el nivel del mar inmediatamente después del evento de extinción, achacándose esta interpretación a errores en la interpretación paleontológica de algunos de los foraminíferos bentónicos (Alegret, L.; Molina, E.; Thomas, E., 2003) (Molina, E.; Alegret, L.; Arenillas, I. *et al.* 2004).

Con respecto a la respuesta de los foraminíferos bentónicos al evento de extinción, los estudios bioestratigráficos clásicos concluyeron que la tasa de extinción de este grupo en el límite K-Pg fue relativamente baja (estimada en un 5%), lo cual llevó algunos autores a argumentar que el evento de extinción no afectó a estos organismos de manera significativa

(Pardo, A.; Ortiz, N. & Keller, G., 1996). Estudios más recientes han concluido que hay evidencias de un reestructuramiento en las comunidades de foraminíferos bentónicos en respuesta al evento de extinción. En las arcillas negras depositados por encima del límite K-Pg, se observa una disminución de la abundancia absoluta de estos organismos y un incremento en la abundancia relativa de taxones aglutinados o interpretados como oportunistas, posiblemente ligada con un elevada inestabilidad ambiental y con el incremento en la acidez y concentración de CO₂ (Molina, E.; Alegret, L.; Arenillas, I. *et al.* 2004).

En las margas y calizas depositadas sobre estas arcillas negras se identifica una segunda fase en las comunidades de foraminíferos bentónicos tras el límite K-Pg, en la cual se ha registrado una abundancia relativa alta (60-70%) en taxones que viven sobre el fondo marino (epifaunales), que contrasta con las características de las comunidades identificadas por debajo del límite. Se ha interpretado que estas asociaciones pueden estar relacionadas con una baja disponibilidad de nutrientes en los océanos durante un largo intervalo de tiempo tras el evento de extinción, como consecuencia de esta escasez, los organismos que habitaban la superficie del lecho marino consumirían una gran parte de los nutrientes precipitados, resultando en una menor productividad endobentónica (Molina, E.; Alegret, L.; Arenillas, I. *et al.* 2004).

Queda claro, por tanto, que el estudio de esta sección ha contribuido a comprender los mecanismos de extinción y la respuesta de múltiples grupos de organismos marinos durante el intervalo de tiempo preservado en la sección del límite K-Pg.

3. SECCIÓN DEL EOCENO (LÍMITE YPRESIENSE-LUTECIENSE)

Esta sección, situada al oeste de la “Lloma de la Canyeta Blanca”, tiene una potencia de unos 115 metros, interpretándose como depósitos formados en un ambiente de plataforma distal, con largos intervalos de régimen sedimentario normal, intercalados por múltiples

eventos turbidíficos. La litología resultante está dominada por una sucesión de margas, areniscas y calizas, además es muy rica en restos fósiles marinos.

En su momento, esta sección fue una de las evaluadas por la Comisión Internacional de Estratigrafía (ICS), para establecer el estratotipo y punto de límite global (GSSP) de la base del Luteciense, datado en 47,8 millones de años, mediante la aplicación de métodos magnetobiocronológicos, correlacionándose con el tránsito entre el Eoceno inferior y el Eoceno medio. El grupo de trabajo del límite Ypresiense-Luteciense, evaluó múltiples secciones entre 1992 y 2009 en Italia, Israel, Túnez, Argentina, España y otros países, en busca de una sección que cumpliera todos los requisitos establecidos para su nombramiento como estratotipo (tabla 2). Tras un intenso cribado, en una reunión del comité en 2009 se votó entre las secciones de Agost y Gorrondatxe (Guecho, España), siendo escogida de manera unánime la segunda (Molina, E.; Alegret, L.; Apellaniz, E. *et al.* 2011).

A pesar de no obtener el título de estratotipo, la sección del Eoceno de Agost, es uno de los mejores lugares del mundo para estudiar la transición entre el Eoceno inferior y el Eoceno medio. Dado que el Eoceno fue en términos generales, la época en la que empezó la transición entre un régimen climático de tipo "Hothouse" (invernáculo) con condiciones tropicales globales, hacia el régimen climático actual, de tipo "Icehouse" (iglu o nevera), con casquetes polares permanentes, el estudio de las fluctuaciones climáticas durante el Eoceno puede resultar muy valiosa para comprender los efectos que nuestra actividad puede tener en el clima del planeta (Fischer, A. G. 1981) (Mudelsee, M.; Bickert, T.; Lear, C. H. *et al.* 2014).

La base del Eoceno, datada en 56,0 millones de años, se identifica a nivel global por un descenso abrupto en la proporción entre los isótopos $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, ligado a un incremento del CO_2 atmosférico y las temperaturas globales, como consecuencia de una intensa actividad volcánica, dando lugar al máximo térmico del Paleoceno-Eoceno (PETM) (Gutjahr, M.; Rid-

gwell, A.; Sexton, P. F. *et al.* 2017) (Haynes, L. L. & Hönisch, B. 2020). Durante gran parte del Eoceno inferior (Ypresiense) se mantuvo este "óptimo climático", durante el que se registraron las temperaturas medias más altas de todo el Cenozoico (Mudelsee, M.; Bickert, T.; Lear, C. H. *et al.* 2014). Hacia finales de esta edad (≈ 49 millones de años), se identifica una fase de enfriamiento ligada a una disminución del CO_2 atmosférico, posiblemente relacionada con la proliferación del helecho flotante *Azolla* en el océano Ártico (Neville, L. A.; Grasby, S. E.; McNeil, D. H. 2019).

Requisitos establecidos para el establecimiento de un GSSP.

1. Afloramiento de una cantidad adecuada de sedimentos.
2. Sedimentación continua, sin hiatos apreciables.
3. Alta tasa de sedimentación
4. Ausencia de deformación de los estratos y perturbaciones tectónicas.
5. Ausencia de metamorfismo y de alteraciones diagenéticas intensas.
6. Registro fósil abundante y con un alto grado de preservación.
7. Ausencia de alteraciones importantes en las facies.
8. Facies favorables para correlaciones bioestratigráficas globales.
9. Adecuación para el uso de métodos de datación radiométrica.
10. Adecuación para la aplicación de métodos de magnetoestratigrafía.
11. Adecuación para la aplicación de métodos de [quimioestratigrafía](#).
12. Grado de accesibilidad.
13. Acceso libre y sin restricciones potenciales.
14. Protección legal de la localización.
15. Posibilidad de fijar un marcador físico permanente.

Tabla 2. Listado con los requisitos evaluados para establecer un estratotipo y punto de límite global (GSSP).

Tras el límite entre el Ypresiense y el Luteciense, datado en 47,8 millones de años, hubo un máximo climático de menor intensidad, que se prolongó hasta hace unos 47,2 millones de años (Payros, A.; Ortiz, S.; Alegret, L. *et al.* 2012). Tras este evento, empezó una fase de enfriamiento que se prolongó durante casi todo el Luteciense, a finales de esta edad, tuvo lugar un breve máximo térmico ($\approx 41,52$ a $41,49$ millones de años), que ya había sido revertido en la base del Bartonense, datada en $41,2$ millones de años (Huyghe, D.; Merle, D.; Lartaud, F. *et al.* 2012) (Westerhold, T.; Röhl, U.; Donner, B. *et al.* 2018). Ya en el Bartonense, hace entre $40,5$ y 40 millones de años, tuvo lugar un nuevo máximo térmico intenso cono-

cido como óptimo climático del Eoceno Medio (MECO), con un aumento de la proporción de CO₂ y de la temperatura en la superficie marina de entre 2 y 6°C, y que se ha vinculado con vulcanismo en el mar de Neotetis, en los actuales Azerbaiyán e Irán (van der Boon, A.; Kuiper, K. F.; van der Ploeg, R. *et al.* 2021). Durante el resto del Bartonense y el Priabonense, se restablece la tendencia hacia un descenso de la temperatura global, formándose a finales del Priabonense un casquete glacial permanente en la recientemente aislada Antártida, que afectó las corrientes marinas, la circulación atmosférica global y provocó un descenso en el nivel del mar. Estas alteraciones resultaron en un evento de extinción y una reestructuración de los ecosistemas marinos y terrestres, conocida como “Grande Coupere” (gran corte), que marca la transición entre el Eoceno y el Oligoceno (Karoui-Yaakoub, N.; Grira, C.; Saïd-Mtimet, M. *et al.* 2017) (Costa, E.; Garcés, M.; Sáez, A. *et al.* 2011).

Mediante el uso de métodos magnetobiocronológicos, se ha estimado que la base de la sección del Eoceno de Agost, tiene una edad de unos 49,4 millones de años, mientras que el techo de la sección rondaría los 41 millones de años de antigüedad (Larrasoña, J. C.; Gonzalvo, C.; Molina, E. *et al.*, 2008). Por tanto, su estudio puede aportar información sobre la parte terminal del Ypresiense, la totalidad del Luteciense y posiblemente la base del Bartonense, permitiendo datar y correlacionar múltiples eventos climáticos y bioestratigráficos a lo largo de este intervalo de tiempo (Tori, F. & Monechi, S. 2013).

La identificación de sucesos que se puedan correlacionar con la base del Luteciense, ha sido una de las líneas de investigación más importantes que se ha realizado en esta sección. Las primeras propuestas para identificar este piso se centraron en la identificación de litologías de tipo “Calcaire grossier” o “Calcaire lutétien” (calizas bastas o lutecienses) típicas de estas secciones, (De Lapparent, A. 1883). Posteriormente se propusieron las secciones de Saint Leu d’Esserent y Saint Vaas-Les-Mello, unos 50 km al norte de París, en base a la presencia de ciertas especies de macrofora-

miníferos bentónicos (*Nummulites laevigatus*, *Orbitolites complanatus*) y nanoplancton calcáreo (Blondeau, A. 1981). Uno de los indicadores propuestos más recientemente, fue la primera aparición del foraminífero planctónico *Hantkenina nuttalli*, indicador de la base de la zona P10, (Berggren, W. A.; Kent, D. V.; Swisher, C. C. *et al.* 1995) (Molina, E.; Cosovic, V.; Gonzalvo, C. *et al.* 2000), y que se correlacionaba con el techo del cron C22n (Lowrie, W.; Álvarez, W.; Napoleone, G. *et al.* 1982) (Molina, E.; Alegret, L.; Apellaniz, E. *et al.* 2011). Otras propuestas incluían la primera aparición del foraminífero Guembeltrioides nuttalli (Berggren, W. A. & Pearson, P. N. 2005), la primera aparición del nanofósil calcáreo *Blackites inflatus*, el límite entre las shallow benthic zones (zonas bentónicas someras) SBZ12 y SBZ13 (Serra-Kiel *et al.* 1998)

El uso de *H. nuttalli* como indicador de la base del Luteciense resulta problemático puesto que se hallaron evidencias de que su primera aparición en el registro fósil no es simultánea (Pearson, P. N.; Nicholas, C. J.; Singano, J. M. *et al.* 2004), el estudio de la sección de Gorrondatxe mostró que muchos de los eventos propuestos no son contemporáneos entre sí (Payros, A.; Bernaola, G.; Orue-Etxebarria *et al.* 2007). El estudio de la magnetocronología y las faunas de la sección del Eoceno de Agost, dan soporte a esta interpretación, la primera aparición de *H. nuttalli* se sitúa a 83,6 metros de la base y la de *G. nuttalli* se registra a los 57 metros, el primer registro de ambas especies tiene lugar durante un intervalo con polaridad invertida (R2), el cual se ha correlacionado con el cron C20r. Por tanto la primera aparición de ambos taxones de foraminíferos no es simultánea y sería muy posterior al límite entre los cronos C22n y C21r, obligando a buscar otros indicadores para definir la base del Luteciense (Larrasoña, J. C.; Gonzalvo, C.; Molina, E. *et al.*, 2008).

Al aprobarse la sección de Gorrondatxe como GSSP de la base del Luteciense, se escogió utilizar la primera aparición del cocolíto *B. inflatus* como indicador bioestratigráfico, vinculado también con la base de la zona CP12b (zona de cocolíto del del Paleógeno 12b)

(Molina, E.; Alegret, L.; Apellaniz, E. *et al.* 2011) (Tori, F. & Monechi, S. 2013). En la sección del Eoceno de Agost la primera aparición de *B. inflatus* se ha identificado a 13,2 metros de la base de la sección, a unos 3,5 metros por encima de la base de un intervalo con polaridad invertida (R1) correlacionado con el cron C21r. Estos resultados son consistentes con la ubicación del límite en el estratotipo de Gorrondatxe en un intervalo con polaridad invertida que se ha identificado como parte del cron C21r.

Donde si surgen discrepancias entre los eventos bioestratigráficos identificados en las secciones de Agost y en las de Gorrondatxe, es en la correlación de las zonas bentónicas someras (SBZ). La transición entre las zonas SBZ12 y SBZ13 es uno de los indicadores propuestos para la base del Luteciense. En Gorrondatxe se han identificado 10 asociaciones de macroforaminíferos, en un intervalo de entre 69 y 654 metros de la base. La segunda asociación se encuentra a más de 30 metros por debajo de la primera aparición de *B. inflatus* y los taxones identificados son típicos tanto de la zona SBZ12 como de la SBZ13. La siguiente asociación se encuentra a más de 100 metros por encima del estratotipo de la base del Luteciense, mostrando una fauna típica de las partes posteriores de la zona SBZ13. En base a estos resultados, los autores de este estudio concluyeron que la transición entre las zonas SBZ12 y SBZ13, ocurrió simultáneamente, ligeramente antes o después de la base del Luteciense, lo cual es consistente con los resultados obtenidos en otros estudios (Payros, A.; Dinàres-Turell, J.; Bernaola, G. *et al.* 2011) (Molina, E.; Alegret, L.; Apellaniz, E. *et al.* 2011).

En contraste, en los estudios realizados en la sección de Agost, se obtuvieron unos resultados considerablemente distintos. En esta sección se identifican ocho asociaciones de macroforaminíferos, muestreadas en un intervalo comprendido entre los 2 y los 114.5 metros sobre la base, el primer registro de *B. inflatus* y, por tanto, la base del Luteciense se encuentra a 13,2 metros de la base de la sección. La primera (2 m de la base) y segunda asocia-

ción (15,7 m de la base), incluyen muchas especies características de la zona SBZ11, la tercera asociación está dominada por especies típicas de la zona SBZ12. No es hasta la cuarta asociación, situada a 36,7 metros de la base de la sección, cuando se identifica una comunidad de macroforaminíferos típica de la zona SBZ13. En base a estos resultados, cabría esperar que la transición entre la SBZ12 y la SBZ13, así como entre la SBZ11 y la SBZ12 tuviese lugar durante el Luteciense, lo cual contradice los resultados obtenidos en la sección de Gorrondatxe y en otras localidades.

Esta discrepancia se extiende también a la correlación entre las zonas SBZ y la cronostratigrafía, en Agost la transición entre la SBZ12 y la SBZ13 se registra durante una fase de polaridad normal (cron C21n), mientras que en Gorrondatxe esta transición se identifica durante una fase de polaridad invertida (cron C21r). Aunque es cierto que la asignación dudosa de la segunda asociación de macroforaminíferos, más el largo intervalo que hay entre esta y la tercera, dificultan conocer con exactitud la base de la zona SBZ13 en Gorrondatxe de manera definitiva a la zona SBZ13, la identificación de faunas típicas de la zona SBZ11, antes y después de la base del Luteciense en Agost, resulta muy difícil de reconciliar con datos obtenidos en otras secciones. (Larra-soaña, J. C.; Gonzalvo, C.; Molina, E. *et al.*, 2008) (Molina, E.; Alegret, L.; Apellaniz, E. *et al.* 2011)

También se ha estudiado en la sección de Agost los posibles indicadores para la base del Bartonense, con una edad de 41,2 millones de años (Gradstein, F.M.; Ogg, J.G.; Schmitz, M. *et al.*, 2012). Actualmente aún no se ha definido oficialmente un GSSP para el Bartonense, puesto que las secciones de la autovía de Contessa en Italia y del cabo de Oyambre en España poseen ciertos inconvenientes para su nombramiento como GGSP (tabla 2.) (Jovane, L.; Florindo, F.; Coccioni, R. *et al.* 2007) (Dinàres-Turell, J.; Payros, A.; Monechi S. *et al.*, 2014) (Payros, A.; Dinàres-Turell, J.; Monechi S. *et al.*, 2015).

Entre los posibles indicadores que se han considerado para la definición de la base del

Bartoniense, se incluyen la primera aparición de los taxones de nanofósiles calcáreos *Cribocentrum reticulatum* y *Reticulofenestra umbilica* > 14 µm. En la sección Eocena de Agost, ambos taxones se registran por primera vez cerca del techo de la sección, a unos 108,5 metros de su base, coincidiendo con la base del cron C19r, una correlación que ya se había propuesto en otros yacimientos (Fornaciari, E.; Agnini, C.; Catanzariti, R. *et al.* 2010) (Tori, F. & Monechi, S. 2013).

Sin embargo, el criterio que goza con mayor aceptación en la actualidad para definir la base del Bartoniense es el cron C19n, si bien no existe consenso sobre si se debería definir utilizando su base (Fluegeman, R. H. 2007) o su techo (Jovane, L.; Sprovieri, M.; Coccioni, R. *et al.* 2010), en cualquier caso en la sección de Agost no se ha identificado una fase de polaridad normal en el techo de la sección, y a falta de identificar el cron C19n cabe la posibilidad de que se registre el tránsito entre el Luteciense y el Bartoniense (Payros, A.; Dinàres-Turell, J.; Monechi S. *et al.*, 2015).

4. CONCLUSIONES

Como queda patente en este trabajo de recopilación bibliográfica, las secciones del límite K-Pg y el Eoceno, confieren al municipio de Agost un patrimonio geológico de un considerable valor, no solo a nivel regional sino también global. La reciente declaración a la sección del límite K-Pg, como un monumento natural (Decreto 45/2020) reafirma el reconocimiento y protección de esta sección, ofreciendo una categoría de protección autonómica a un espacio incluido desde hace mucho tiempo en el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico. Cabe destacar, que aunque la sección del Eoceno de Agost, no ha recibido una categorización propia, ni se menciona en el decreto por el que se declara esta zona como monumento natural, las secciones del Eoceno que han sido objeto de estudio, se encuentran dentro del área delimitada en la declaración del monumento natural del límite K/T geológico, por tanto se encontrarían igual de protegidas que las secciones cretácicas si-

tuadas más al este. En cualquier caso podría ser conveniente que se plantease realizar una evaluación de estas secciones para sopesar su potencial inclusión en el IELIG.

A pesar de que se han estudiado estas secciones con detalle, su futuro estudio, podría aportar aun más datos sobre los intervalos de tiempo geológico preservados en los sedimentos, ayudando a esclarecer algunos de los aspectos relacionados con el límite K/Pg con los eventos paleoecológicos y paleoclimáticos que acontecieron a lo largo del Luteciense, en este sentido la preservación a largo plazo de estas secciones es crucial, poniendo en evidencia la importancia de realizar un seguimiento exhaustivo de la gestión del recientemente declarado Monumento Natural.

5. BIBLIOGRAFÍA

ALESSANDRO-CHIARENZA, A.; FARN-SWORTH, A.; D. MANNION, P. *et al.* (2020). Asteroid impact, not volcanism, caused the end-Cretaceous dinosaur extinction. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117 (29): 17084-17093.

ALEGRET, L.; MOLINA, E. & THOMAS, E. (2003). Benthic foraminiferal turnover across the Cretaceous/Paleogene boundary at Agost (southeastern Spain): Paleoenvironmental inferences. *Marine Micropaleontology*, 48: 251-279.

ÁLVAREZ, L. W.; ÁLVAREZ, W.; ASARO, F. *et al.*, (1980). Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Experimental results and theoretical interpretation. Science*, 208 (4448): 1095-1108.

ARZ, J. A.; ARENILLAS, I.; MOLINA, E. *et al.* (1999). Los efectos tafonómico y "Signor-Lipps" sobre la extinción en masa de foraminíferos planctónicos en el límite Cretácico/Terciario de Elles (Tunicia). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 12 (2): 251-267.

- BERGGREN, W. A. & PEARSON, P. N. (2005). A revised tropical to subtropical Paleogene planktonic foraminiferal zonation. *Micropaleontology*, 35: 308-320.
- BERGGREN, W. A.; KENT, D. V.; SWISSER, C. C. *et al.* (1995). A revised Paleogene geochronology and chronostratigraphy. In Berggren, W. A.; Kent, D. V.; Aubry, M. P.; Hardenbol, J. (eds): *Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlation*, 54: 129-212.
- BLONDEAU, A. (1981). Lutetian. In Pomerol, Ch., ed. *Stratotypes of Paleogene Stages*. Bulletin d'Information des Géologues du Bassin de Paris, Mémoire hors série, 2: 167-180.
- CANUDO, J. I.; KELLER, G.; MOLINA, E. (1991). Cretaceous/Tertiary boundary extinction pattern and faunal turnover at Agost and Caravaca, S. E. Spain. *Marine Micropaleontology*, 17: 319-341.
- COSTA, E.; GARCÉS, M.; SÁEZ, A. *et al.* (2011). The age of the "Grande Coupure" mammal turnover: New constraints from the Eocene-Oligocene record of the Eastern Ebro Basin (NE Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaecology*, 301 (1-4): 97-107.
- Decreto 45/2020, de 8 de enero, del Consell, de declaración como monumento natural del límite K/T geológico Capa Negra, en el término municipal de Agost. Diari Oficial de la Comunitat Valenciana, núm. 8797 de 24 de abril de 2020.
- DE LAPPARENT, A. (1883). *Traité de Géologie*. Savy, Paris: 1280.
- DINÀRES-TURELL, J.; PAYROS, A.; MONECHI S. *et al.*, (2014). In Search of the Bartonian (Middle Eocene) GSSP (II): Preliminary results from the Oyambre section (N Spain). In: Rocha, R., *et al.* (Eds.), Springer International Publishing, Switzerland: 79-83 (Stratigraphy 2013).
- FISCHER, A. G. (1981). Climatic oscillations in the biosphere. In: Nitecki, M. H. (Ed.). *Biotic Crises in Ecological and Evolutionary Time*. Academic Press, New York: 103-131.
- FLUEGEMAN, R. H. (2007). Unresolved issues in Cenozoic chronostratigraphy. *Stratigraphy*, 4: 109-116.
- FORNACIARI, E.; AGNINI, C.; CATANZARITI, R. *et al.* (2010). Mid-latitude calcareous nanofossil biostratigraphy, biochronology and evolution across the middle to late Eocene transition. *Stratigraphy*, 7: 229-264.
- GARCÍA-CORTÉS, Á., CARCAVILLA, L., DÍAZ-MARTÍNEZ, E. *et al.* (2014). Documento metodológico para la elaboración del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG). Instituto Geológico y Minero de España (IGME), sección de Patrimonio (Descargas): 61
- GRADSTEIN, F.M.; OGG, J.G.; SCHMITZ, M. *et al.*, (2012). *The geologic time scale 2012*. Elsevier, 2012. 1139 pp.
- GROOT, J. J.; DE JONGE, R. B. G.; LANGERREIS, C. G. *et al.* (1989). Magnetostratigraphy of the Cretaceous-Tertiary boundary at Agost (Spain). *Earth and Planetary Science Letters*, 94: 385-397.
- GU, X.; ZHANG, L.; YIN, R. *et al.* (2022). Deccan volcanic activity and its links to the end-Cretaceous extinction in northern China. *Global Planetary Change*, 210: 1-10.
- GUTJAHR, M.; RIDGWELL, A.; SEXTON, P. F. *et al.* (2017). Very large release of mostly volcanic carbon during the Palaeocene-Eocene Thermal Maximum. *Nature*, 548 (7669): 537-577.
- HAYNES, L. L. & HÖNISCH, B. (2020). The seawater carbon inventory at the Paleocene-Eocene Thermal Maximum. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 117 (39): 24088-24095.

- HUYGHE, D.; MERLE, D.; LARTAUD, F. *et al.* (2012). Middle Lutetian climate in the Paris basin: implications for a marine hotspot of paleobiodiversity. *Facies*, 58: 587-604.
- JABLONSKI, D. & CHALONER, W. G. (1994). Extinctions in the Fossil Record [and Discussion]. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 344 (1307): 11-17.
- JOVANE, L.; FLORINDO, F.; COCCIONI, R. *et al.* (2007). The middle Eocene climatic optimum event in the Contessa Highway section, Umbrian Apennines, Italy. *Geological Society of America Bulletin*, 119: 413-437.
- JOVANE, L.; SPROVIERI, M.; COCCIONI, R. *et al.* (2010). Astronomical calibration of the middle Eocene Contessa Highway section (Gubbio, Italy). *Earth Planetary Science Letters*, 298: 77-88.
- KAROUI-YAAKOUB, N.; GRIRA, C.; SAÏDMTIMET, M. *et al.* (2017). Planktic foraminiferal biostratigraphy, paleoecology and chronostratigraphy across the Eocene/Oligocene boundary in northern Tunisia. *Journal of African Earth Sciences* 125: 126-136.
- LARRASOÑA, J.C.; GONZALVO, C.; MOLINA, E. *et al.* (2008). Integrated magnetobiochronology of the Early/Middle Eocene transition at Agost (Spain): Implications for defining the Ypresian/Lutetian boundary Stratotype. *Lethaia*, 41 (4): 395-415.
- LECLERC, J. (1971). Etude géologique du massif du Maimó et de ses abords (prov. d'Alicante, Espagne). PhD Thesis, Géologie Structural. University of Paris: 96-100.
- LOWRIE, W.; ÁLVAREZ, W., NAPOLEONE, G. *et al.* (1982). Paleogene magnetic stratigraphy in Umbrian pelagic carbonate rocks. *GSA Bulletin*, 93: 414-432.
- MCLEAN D. M. (1978). A terminal Mesozoic "Greenhouse": Lessons from the past. *Science*, 201 (4354): 401-406.
- MOLINA, E.; ALEGRET, L.; ARENILLAS, I. *et al.* (2004). The Cretaceous/Paleogene boundary at the Agost section revisited: paleoenvironmental reconstruction and mass extinction pattern. *Journal of Iberian Geology*, 31: 135-148.
- MOLINA, E.; ALEGRET, L.; APELLANIZ, E. *et al.* (2011). The Global Stratotype Section and Point (GSSP) for the base of the Lutetian Stage at the Gorrondatxe section, Spain. *Episodes*, 34 (2): 86-108.
- MOLINA, E.; ARENILLAS, I.; 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.; COSOVIC, V.; GONZALVO, C. *et al.* (2000). Integrated biostratigraphy across the Ypresian/Lutetian boundary at Agost, Spain. *Revue de Micropaléontologie*, 43: 381-391.
- MUDELSEE, M.; BICKERT, T.; LEAR, C. H. *et al.* (2014). Cenozoic climate changes: A review base don time series analysis of marine benthic $\delta^{18}O$ records. *Reviews of Geophysics*, 52 (3): 333-374.
- NEVILLE, L. A.; GRASBY, S. E.; MCNEIL, D. H. (2019). Limited freshwater cap in the Eocene Arctic Ocean. *Scientific Reports*, 9 (4226): 1-6.
- PARDO, A. ; KELLER, G., ORTIZ, N. (1996). Latest Maastrichtian and K/T boundary foraminiferal turnover and environmental changes at Agost, Spain. In : N. MacLeod, G. Keller (eds), *Cretaceous-Tertiary Mass Extinctions : Biotic and Environmental Changes* : 137-191, Norton and Company, New York.

- PAYROS, A.; BERNAOLA, G.; ORUE-ETXEBARRIA *et al.* (2007). Reassessment of the Early-Middle Eocene biomagnetostratigraphy base on evidence from the Gorrondatxe section (Basque Country, W Pyrenees). *Lethaia*, 40: 183-195.
- PAYROS, A.; DINARÈS-TURELL, J.; BERNAOLA, G. *et al.* (2011). On the age of the Early/Middle Eocene boundary and other related events: Cyclostratigraphic refinements from the Pyrenean Otsakar section and the Lutetian GSSP. *Geological Magazine*, 148: 442-460.
- PAYROS, A.; DINARÈS-TURELL, J.; MONECHI S. *et al.*, (2015). The Lutetian/Bartonian transition (middle Eocene) at the Oyambre section (northern Spain): Implications for standard chronostratigraphy. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeocology*, 440: 234-248.
- PAYROS, A.; ORTIZ, S.; ALEGRET, L. *et al.* (2012). An early Lutetian carbon-cycle perturbation: Insights from the Gorrondatxe section (western Pyrenees, Bay of Biscay). *Paleoceanography*. 27 (2): 1-14.
- PEARSON, P. N.; NICHOLAS, C. J.; SINGANO, J. M. *et al.* (2004). Paleogene and Cretaceous sediment cores from Kilwa and Lindi areas of coastal Tanzania: Tanzania Drilling Project Sites 1-5. *Journal of African Earth Sciences*, 39: 25-62.
- RENNE, P. R.; DEINO, A. L.; HILGEN, F. J. *et al.* (2013). Time scales of critical events around the Cretaceous-Paleogene boundary. *Science*, 339 (6120): 684-687.
- SCHULTE, P.; ALEGRET, L.; ARENILLAS, I. *et al.* (2010). The Chicxulub asteroid impact and mass extinction at the Cretaceous-Paleogene boundary. *Science*, 327 (5970): 1214-1218.
- SMIT, J. (1990). Asteroid impact, extinctions and the Cretaceous-Tertiary boundary. *Geologie en Mijnbouw*, 69: 187-204.
- TAPPAN, H. (1968). Primary production, isotopes, extinctions and the atmosphere. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeocology*, 4: 187-210.
- TORI, F. & MONECHI, S. (2013). Lutetian calcareous nannofossil events in the Agost section (Spain): implications toward a revision of the Middle Eocene biomagnetostratigraphy. *Lethaia*, 46: 293-307.
- VAN DER BOON, A.; KUIPER, K. F.; VAN DER PLOEG, R. *et al.* 2021. Exploring a link between the Middle Eocene Climatic Optimum and Neotethys continental arc flare-up. *Climate of the Past*, 17 (1): 229-239.
- WESTERHOLD, T.; RÖHL, U.; DONNER, B. *et al.* 2018. Late Lutetian Thermal Maximum: Crossing a thermal threshold in Earth's Climate System? *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 19. 1-10.