

Paleoguía⁰³

Edición Premio Paleonturología 23
Nivel avanzado



paleonturología



ISSN: 2990-3270 (versión en línea)

Colección Paleoguía

Editada en 2024 en Teruel (España) por la
Fundación Conjunto Paleontológico
de Teruel - Dinópolis

El meteorito que provocó la extinción de los dinosaurios, impactó en la primavera boreal

Esta **Paleoguía** es una versión divulgativa del artículo científico agraciado con el **21º Premio Internacional de Investigación en Paleontología** paleonturología 23, convocado por la Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel-Dinópolis.

El premio paleonturología 23 consistió en un galardón de 2.500 euros más la edición de esta versión didáctica (**Paleoguía**) del trabajo premiado.

La cita bibliográfica del artículo premiado es:

Melanie A.D. During, Jan Smit, Dennis F.A.E. Voeten, Camille Berruyer, Paul Tafforeau, Sophie Sanchez, Koen H.W. Stein, Suzan J.A. Verdegaal-Warmerdam & Jeroen H.J.L. van der Lubbe, 2022. El Mesozoico acabó en la primavera boreal. *Nature*, 603, 91–94.

Esta publicación forma parte de los proyectos de investigación en Paleontología subvencionados por: Gobierno de Aragón a través del grupo de investigación E04_23R FOCONTUR; Departamento de Medio Ambiente y Turismo del Gobierno de Aragón; Unidad de Paleontología de Teruel, Ministerio de Ciencia e Innovación; Instituto Aragonés de Fomento; Dinópolis y Caja Rural de Teruel.

EDICIÓN:

© Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel – Dinópolis
Teruel (España)

AUTORES:

Melanie A.D. During, Jan Smit, Dennis F.A.E. Voeten, Camille Berruyer, Paul Tafforeau, Sophie Sanchez, Koen H.W. Stein, Suzan J.A. Verdegaal-Warmerdam & Jeroen H.J.L. van der Lubbe.

COORDINACIÓN:

Luis Miguel Sender y Alberto Cobos

IMAGEN DE PORTADA:

Reconstrucción de Joshua Knüppe del evento Tanis con una ola que se adentra en el río arrastrando peces, dinosaurios y árboles mientras llueven esféras de impacto.

DISEÑO GRÁFICO:

JoaquínPG

DL: TE-129-2024

ISSN: 2990-286X (versión impresa)

ISSN: 2990-3270 (versión en línea)

Queda rigurosamente prohibida, sin la autorización escrita de los autores y del editor, bajo las sanciones establecidas en la ley, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático. Todos los derechos reservados.

Article

The Mesozoic terminated in boreal spring

Melanie A. D. During^{1,2,3}, Jan Smit⁴, Dennis F. A. E. Voeten⁵, Camille Berruyer⁶, Paul Tafforeau⁷, Sophie Sanchez⁸, Koen H. W. Stein⁹, Suzan J. A. Verdegaal-Warmerdam¹ & Jeroen H. J. L. van der Lubbe¹⁰

Received: 22 June 2021

Accepted: 19 January 2022

Published online: 23 February 2022

Open access

Check for updates

The Cretaceous–Palaeogene mass extinction around 66 million years ago was triggered by the Chicxulub asteroid impact on the present-day Yucatán Peninsula^{1,2}. This event caused the highly selective extinction that eliminated about 76% of species^{3,4}, including all non-avian dinosaurs, pterosaurs, ammonites, rudists and most marine reptiles. The timing of the impact and its aftermath have been studied mainly on millennial timescales, leaving the season of the impact unconstrained. Here, by studying fishes that died on the day the Mesozoic era ended, we demonstrate that the Cretaceous–Palaeogene mass extinction took place during boreal spring. Osteohistology together with stable isotope records of exceptionally preserved perichondral and dermal bones in an agnosceriform fish from the Tanis impact-induced seiche deposits⁵ reveal annual cyclicity across the final years of the Cretaceous period. Annual life cycles, including seasonal timing and duration of reproduction, feeding, hibernation and aestivation, vary strongly across latest Cretaceous biotic clades. We postulate that the timing of the Chicxulub impact in boreal spring and austral autumn was a major influence on selective biotic survival across the Cretaceous–Palaeogene boundary.

The Cretaceous–Palaeogene (K–Pg) mass extinction event affected biodiversity with high but poorly understood taxonomic selectivity. Among archosaurs, for example, all pterosaurs and non-avian dinosaurs succumbed in the K–Pg mass extinction, while crocodylians and saurs survived into the Palaeogene period⁶. Direct consequences of the impact, including impact glass fallout, large-scale forest fires and tsunamis, are geologically documented more than 3,000 km from the Chicxulub impact crater^{7,8}. Although direct effects of the impact

During the Maastrichtian (that is, the last age of the Cretaceous), the climate of present-day North Dakota involved four seasons that were documented in tree-ring periods recovered from other Upper Cretaceous sites in the Hell Creek Formation^{9,10}. Tanis was located approximately 50° N during the latest Cretaceous and experienced distinct seasonality in rainfall and temperature¹¹. Regional air temperatures were reconstructed to range from 4–6 °C in winter up to an average of about 19 °C in summer¹². To uncover the season of the K–Pg bolide

Introducción a la quinta extinción masiva

El evento de extinción que puso fin al período Cretácico tuvo un profundo impacto en la biodiversidad de la Tierra. Los pterosaurios y los dinosaurios no avianos se encontraban entre los desafortunados que se extinguieron, mientras que sobrevivieron mamíferos, cocodrilos, aves, tortugas y muchos tiburones y otros peces. Este evento fue provocado por el impacto de un asteroide gigante que causó una devastación generalizada, con incendios forestales masivos y enormes tsunamis. Los efectos directos del impacto fueron inmensos, pero la extinción global probablemente continuó durante miles de años debido al rápido deterioro climático.

El depósito del evento Tanis en Dakota del Norte, EE. UU., ofrece una ventana única a este suceso catastrófico. Preserva un rico conjunto de evidencias de las formas de vida del Cretácico Superior, incluidos peces, conchas y materia vegetal, enterrados en sedimentos debido a la fuerza de una ola masiva provocada por el impacto (imagen de portada). Los peces fueron encontrados preservados en la dirección del flujo acuoso y con materiales de impacto en sus branquias, lo que sugiere que murieron por esta ola y fueron enterrados vivos.

Los registros de los anillos de los árboles indican distintas variaciones estacionales en la temperatura y las precipitaciones al final del período Cretácico en Dakota del Norte. Para descubrir cuál fue la estación en la que se produjo el impacto, se estudiaron los patrones de crecimiento en los esqueletos de los peces del yacimiento Tanis (Fig. 1). El examen de los incrementos de crecimiento conservados en el hueso, desde el nacimiento hasta la muerte, puede revelar la estación en la que se produjo el impacto. Esta investigación podría arrojar luz sobre cómo los factores ambientales influyeron en la supervivencia de diferentes especies durante este período crítico de la historia de la Tierra.

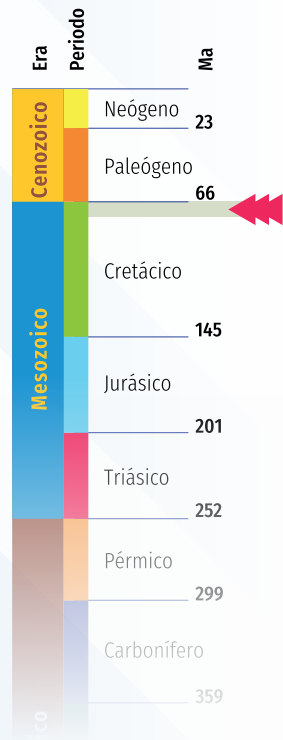


Figura 1. El depósito de Tanis se aprecia como un manto gris sobre la orilla del río, con la primera autora Melanie Doring de escala (1,72 m) caminando junto al depósito. Fotografía cortesía de Jackson Leibach 2017.



Registros de crecimiento de peces del final del Cretácico

El objetivo de este estudio fue determinar la estación en la que cesó el crecimiento óseo en los fósiles de peces del yacimiento Tanis. Para ello, se examinaron los esqueletos de varios peces filtradores (tres esturiones y tres peces espátula) y se identificaron las capas de crecimiento anual en sus láminas de hueso. Utilizando microtomografía computarizada de radiación sincrotrón, se pudo

confirmar la naturaleza anual de estas zonas de crecimiento en tres dimensiones (Fig. 2). También se observaron fluctuaciones en la densidad y el volumen de las células óseas, lo que proporciona más información sobre los patrones estacionales de deposición ósea. Los análisis de crecimiento óseo se complementaron con un registro de isótopos de carbono estables de un dentario de pez espátula.

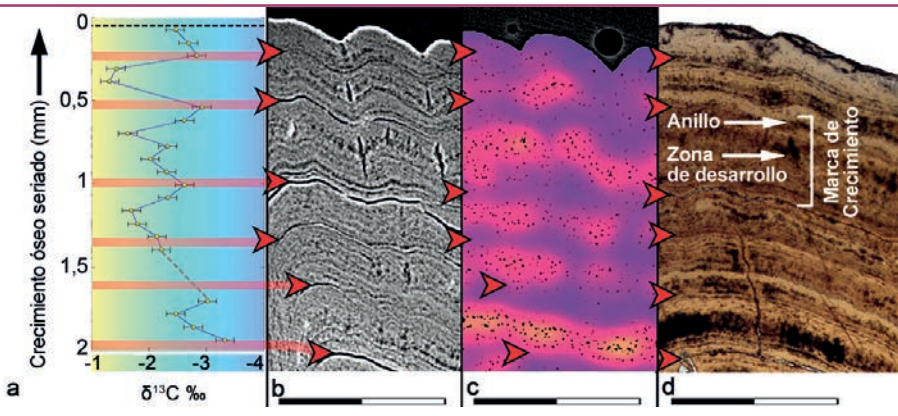


Figura 2. a. Fluctuación anual de los niveles de isótopos de carbono 13 ($\delta^{13}\text{C}$) durante el crecimiento óseo. Los colores representan el rango entre los valores máximos en verano (amarillo) y los valores más bajos en invierno (azul). **b.** Sección gruesa virtual que muestra zonas de crecimiento durante las estaciones favorables y zonas donde el crecimiento óseo se ralentiza (anillos)/líneas de crecimiento detenido (LAGs) durante las estaciones menos favorables (flechas rojas). **c.** Mapa de densidad celular que revela cambios en las densidades y tamaños de las células óseas, con densidades más altas y tamaños más grandes en las estaciones de crecimiento (naranja) y densidades más bajas y tamaños más pequeños fuera de ellas (púrpura). **d.** Sección delgada microscópica mostrando líneas de crecimiento detenido (LAGs) (flechas rojas) y una única marca de crecimiento (corchete) entre ellas. Barras de escala 1 mm.

Depósito del evento Tanis señalado en foto de campo de 2017. Fotografía de Melanie During.



También se aplicó microtomografía computarizada de radiación sincrotrón en un esqueleto parcial de pez espátula (Fig. 3), mostrando que las esférulas de impacto, llamadas tectitas (rocas que fueron expulsadas al espacio por el impacto del asteroide y que posteriormente cayeron de nuevo a la Tierra como lluvia de esférulas de vidrio), están presentes exclusivamente en sus branquias y no fueron encontradas en ningún otro lugar del espécimen. La presencia exclusiva de esférulas de impacto en las branquias del pez espátula indica que éstas

estuvieron filtrando partículas del agua durante el impacto del asteroide. Esto sugiere que los peces estaban vivos y buscando alimento activamente durante el evento catastrófico al final del período Cretácico. El escáner con radiación sincrotrón reveló además que se conservaron estructuras delicadas, incluida la bóveda craneal. Una evaluación adicional de la preservación usando la técnica de microfluorescencia de rayos X en las secciones de hueso indicó un enterramiento rápido y una alteración mínima durante la fosilización.

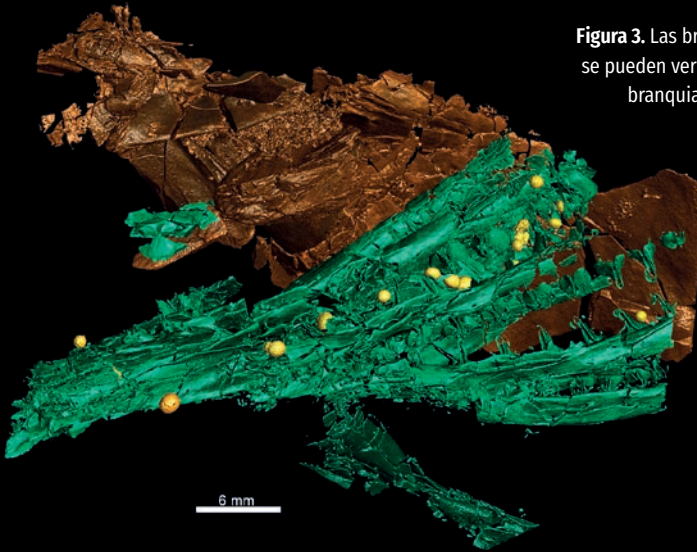


Figura 3. Las branquias del pez espátula se pueden ver en verde, con la cubierta branquial de color marrón detrás.

Entre las branquias se encuentran las tectitas, que se pueden distinguir como pequeñas bolas huecas de color amarillo.



Esqueletos de un esturión y un pez espátula durante las labores de campo de 2017. Fotografía de Melanie Doring.

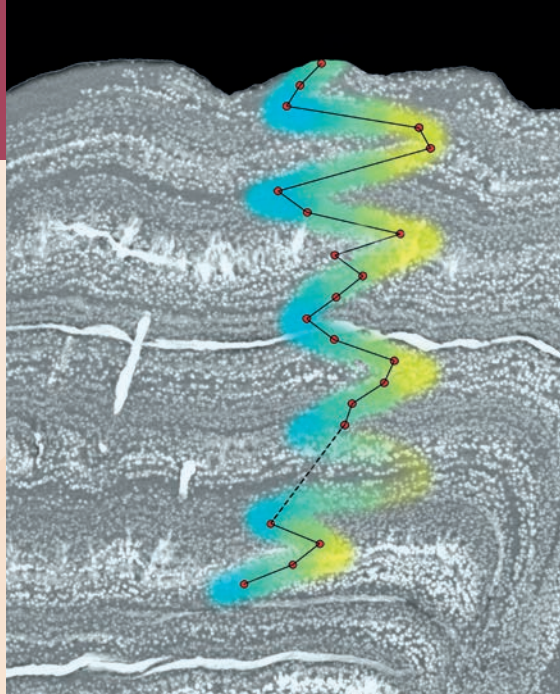


Figura 4. Detalle de una sección delgada virtual del dentario de un pez espátula superpuesta con el registro del isótopo $\delta^{13}\text{C}$, que muestra los valores más bajos en azul (invierno) y los más altos en amarillo (verano). Los picos de crecimiento (amarillo) coinciden con la mayor densidad y el mayor volumen de células óseas. Cuando el pez murió, la distribución de las células óseas y el registro de $\delta^{13}\text{C}$ apuntan a una muerte durante la primavera.

Los huesos comienzan a formarse cuando el pez espátula y el esturión son embriones y continúan creciendo durante toda su vida. A diferencia de la formación ósea que implica la mineralización del cartílago, estos tipos de hueso crecen exclusivamente mediante deposición ósea progresiva. Cada marca de crecimiento anual abarca una zona de crecimiento gruesa, una zona con líneas estrechas (anillo) donde el crecimiento óseo se ralentiza y, en última instancia, una línea final de crecimiento detenido (LAG).

El análisis del crecimiento óseo mostró consistentemente que los peces dejaron de crecer mientras sus huesos formaban una nueva zona de crecimiento, poco después de la deposición de una línea final de crecimiento detenido (LAG). Los patrones cíclicos de densidad y tamaño de las células óseas en los años anteriores indican que la última temporada de crecimiento registrada aún no había llegado a su clímax en el momento de la muerte (Fig. 4). Estos patrones de crecimiento anual

(Fig. 5) son confirmados por isótopos de carbono estables, que revelan patrones de alimentación estacionales. Los isótopos de oxígeno sugieren que vivían exclusivamente en agua dulce, probablemente sin migraciones a hábitats salinos. Estos peces filtradores probablemente se alimentaban de copépodos (un tipo de crustáceos diminutos), con un máximo de alimentación entre primavera y otoño. Los registros de isótopos de carbono indican que comenzaban a comer nuevamente después del invierno, lo que respalda su muerte durante la primavera.



Tres esqueletos de esturiones en el depósito de Tanis durante la campaña de campo de 2017. Fotografía de Melanie During.

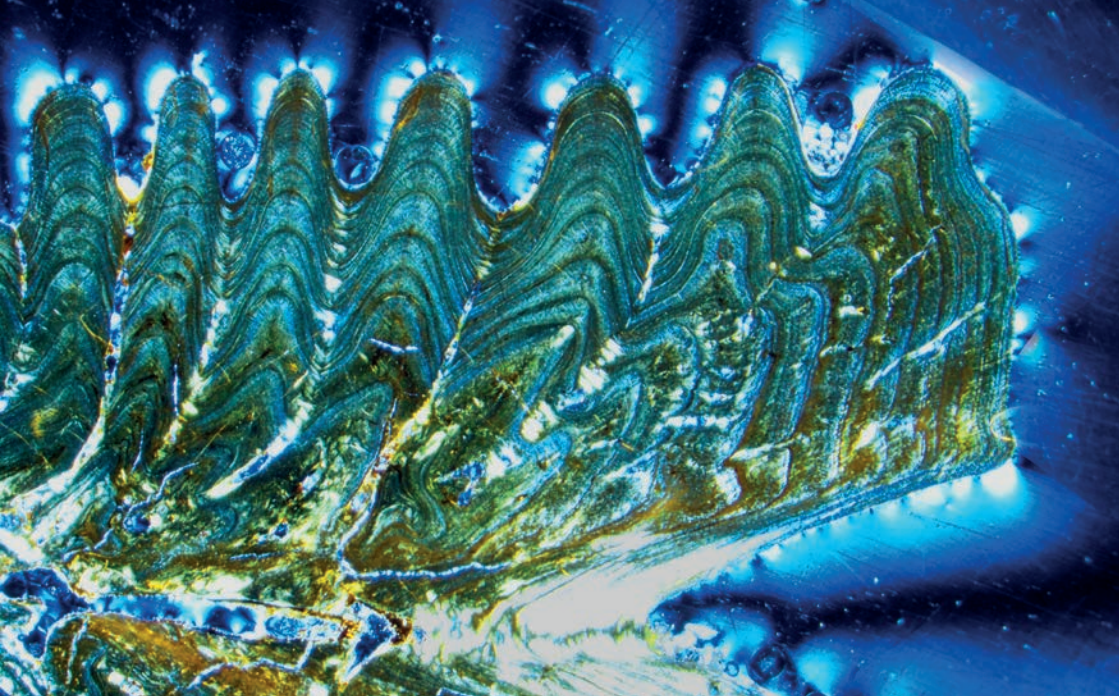


Figura 5. Sección ósea de un hueso fósil de la aleta pectoral de un esturión bajo luz polarizada cruzada, mostrando los incrementos de crecimiento anual.

Implicaciones de una extinción en primavera

Los efectos inmediatos del impacto, como los incendios forestales y la radiación de calor, devastaron los ambientes a nivel global, a lo que siguió la lluvia ácida y un invierno prolongado provocado por dicho impacto. Los organismos del hemisferio norte, especialmente los que se reproducen en primavera, fueron los que más sufrieron, mientras que los ecosistemas del hemisferio sur se recuperaron más rápido. El poder disponer de un refugio subterráneo y la inactividad de algunos animales probablemente ayudaron a su supervivencia. El colapso ecológico afectó a las especies que dependían de los productores primarios, pero algunas aves y mamíferos persistieron explotando recursos alternativos.

Conclusiones

El asteroide que puso fin a la era Mesozoica impactó en la primavera en el hemisferio norte, correspondiente al otoño en el hemisferio sur. Las implicaciones estacionales del impacto ayudarán en futuros estudios que investiguen la selectividad de la extinción del final del Cretácico y las diferencias en cuanto a la extinción y la recuperación entre los dos hemisferios. Una mejor comprensión de esta extinción masiva nos ayudará a identificar mejor los riesgos de extinción y comprender el deterioro ecológico causado por la extinción masiva venidera.





Melanie During excavando el esqueleto de un pez espátula durante la campaña de campo de 2017.
Fotografía cortesía de Jackson Leibach.

Yacimiento Tanis en 2017.
Fotografía de Melanie During.



FUNDACIÓN CONJUNTO
PALEONTOLÓGICO DE
TERUEL - DINÓPOLIS



CAJA RURAL
DE TERUEL



GOBIERNO
DE ARAGON



English version