



SUMARIO

- 6 IMPACTOS**
- 40 ASA**
- 45 EL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA II**
Rafael Garrido
- 51 ASTRONET** Astronomía a tiempo real
Alex Dantari Usón
- 52 CENTRO DE CONTROL**
Manuel Montes Palacio
- OCULAR: EL CIELO EN MAYO**
- 56 CIELO PROFUNDO**
Aymami & Lopesino
- 60 EFEMÉRIDES PLANETARIAS**
J. Gómez Castaño y D. Fernández-Barba
- 64 EFEMÉRIDES CUERPOS MENORES**
J. M^o Trigo
- 70 EL ESPACIO** Trayectorias: Las órbitas
- 72 PARADOJAS** Transporte interestelar
Miquel Barceló
- 73 VENTANA ABIERTA**
- 74 JUNIO**

- 18 IMPACTOS METEORÍTICOS Y EXTINCCIONES EN MASA**
Eustoquio Molina
- 23 INDICIOS DE IMPACTO EXTRATERRESTRE**
Su relación con la extinción de los dinosaurios
Nieves López Martínez
- 30 ESTRUCTURAS DE IMPACTO EN LA PENÍNSULA IBERICA**
Kord Ernstson
- 32 AZUARA ¿Un cráter de impacto?**
Marc Aurell
- 34 EL NACIMIENTO DE UNA HIPÓTESIS**
Alfonso López Borgoñoz
- 37 VULCANISMO**
Una hipótesis alternativa
Víctor Castella
- 38 RITMOS GEOLÓGICOS E IMPACTOS COMETARIOS**
Michael Rampino
- 42 CHICXULUB**
El demonio caído del cielo
M. Orlandini

desde **UNIVERSO**

Con motivo de nuestro segundo año divulgando las ciencias del espacio, hemos querido ofrecerles un número especial, dedicado a los impactos meteoríticos y extinciones en masa.

Desde que la geología y la paleontología empezaron a estudiar los diferentes estratos que forman la superficie de la Tierra, hace ya dos siglos, los científicos han ido encontrando en su investigación que a finales del período Cretácico numerosas especies que parecían llenas de vida y plenas de perspectivas evolutivas poco antes, desaparecían abruptamente en la siguiente capa, la correspondiente al Terciario. La controversia sobre las causas de esta extinción en masa ha sido y es uno de los grandes temas de discusión científica (y no científica) entre los gradualistas, quienes defienden que el final de las especies no ha sido repentino, sino que el mismo se ha dado a lo largo de mucho tiempo, y los catastrofistas, quienes suponen que un acontecimiento súbito fue la causa de la desaparición en masa de numerosas formas de vida en un corto período de tiempo.

En las últimas décadas, el hallazgo de la sincronía entre diversos sucesos geológicos y biológicos, mediante modernas técnicas estratigráficas de precisión, parece confirmar la hipótesis de los catastrofistas, en el sentido de que un único acontecimiento fue el causante de la desaparición de entre el 50 y el 70 por ciento de las especies vivas, según el hábitat, hace unos 65 millones de años.

Asimismo, dado que hablábamos de impactos, hemos creído conveniente traer aquí un cráter polémico, como es el de Azuara (Zaragoza), recogiendo la opinión del investigador que primero publicó la hipótesis del impacto meteorítico, así como otra explicación alternativa al origen geológico de dicha zona.

Queremos agradecer a Eustoquio Molina y a Francisco Anguita, su colaboración, imprescindible en la realización de este especial que el lector tiene hoy en sus manos.

Para finalizar, habrán podido apreciar que no hemos publicado los índices correspondientes al último año. Hemos creído conveniente su publicación siguiendo el ciclo de un año natural y no el de existencia; así que no se preocupen que en el próximo número de enero podrán encontrar el índice completo del último año y medio.

Foto portada: El impacto de un asteroide o un cometa, pudo ser el causante de la extinción en masa de las especies de la Tierra. NASA/ESA

Directora
Milena Orlandini

Consejo de Redacción
Alfonso López
María Paula Muttio
Francisco Minero
Anna Vollmer

Compaginación y Producción
Mercedes Galve

Asesores / Colaboradores
Francisco Anguita
Josep Maria Aymami
Alvaro Azcárraga
Miquel Barceló
Rafael Clemente Soler
Alex Dantari Usón
David Fernández-Barba
Félix García-Castañer
Manuel García Doncel
Rafael Garrido
Álvaro Giménez Cañete
José Gómez Castaño
Gabriel Jaime Gómez
Mark Kidger
Jordi Lopesino
Pedro Mateu Sancho
Enric Monreal
Manuel Montes Palacio
Jorge Munnashe
Antoni Oliva
Carmen del Puerto
Luis Ruiz de Gopegui
Agustín Sánchez Lavega
Josep Maria Trigo
Esther V. Torrubiano
Guillermo Valentin
Teodoro Vives

Dirección de Marketing
Sergio López

Publicidad
M^o José Rodríguez

Productos
Silvia Luz

Suscripciones
Julia L. Borgoñoz

Edita



ANTARES, Ciencia y Ediciones, S.A.
Apdo. 5314
08080 - Barcelona, España
Tel. 93-301.17.17
Fax. 93-301.17.65
e: universo@antares.es
http://universo.home.ml.org

Consejero delegado: Luis Aulina

Fotomecánica y filmación
Digital Screen Tel. 93-430.78.43

Impresión y encuadernación
Gráficas Gómez Boj, S.A.
Tel. 93-309.02.83

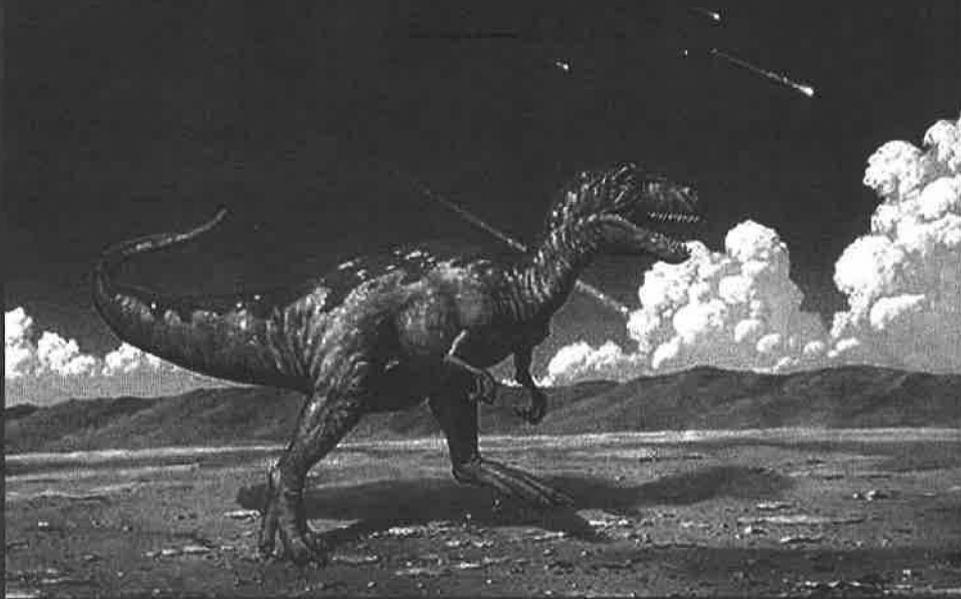
Distribuidor
COEDIS, S.A. Tel. 93-600.03.60

Año III - Número 25
Depósito Legal: B - 18989-95
ISSN: 1135-2876

Copyright:
1997 Antares, Ciencia y Ediciones, S.A.
Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción total o parcial por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin previa autorización escrita de la empresa editora. UNIVERSO es una publicación independiente, no defiende teorías científicas, no censura contenidos ni ideologías y no se hace eco de las opiniones o escritos que publica bajo firma.

UNIVERSO se reserva el derecho a utilizar el material recibido, solicitado o no, en cualquier momento y sin previo aviso, salvo indicación contraria de los autores.

No se mantendrá correspondencia con material no solicitado, ni éste será devuelto.
Printed in Spain



IMPACTOS METEORÍTICOS Y EXTINCIONES EN MASA

EUSTOQUIO MOLINA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA (PALEONTOLOGÍA)
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

Existe una creencia bastante generalizada de que los primeros en atribuir las extinciones en masa a los impactos meteoríticos fueron Álvarez y sus colaboradores en 1980. Sin embargo, Schindewolf en 1955 ya había propuesto para la extinción en masa una causa extraterrestre, que sería una cercana supernova. Asimismo, De Laubenfels en 1956 sugería que la extinción de los dinosaurios podría ser el resultado del impacto de un gran meteorito. Además, existe otro precedente que se adelantó a éstos en casi dos siglos y medio: Whiston en 1696, sugería que la causa podría haber sido un cometa. Pero estas hipótesis anteriores no pudieron alcanzar el nivel de teorías por no ofrecer un mecanismo rigurosamente sustentado por datos científicos, siendo Álvarez y colaboradores los primeros en aportar pruebas y proponer un mecanismo factible.

Ahora bien, todavía se plantean una serie de interrogantes que son de máxima actualidad. ¿Puede establecerse la relación causa efecto entre impactos meteoríticos y extinciones en

masa? ¿Coinciden las evidencias de impacto meteorítico con los patrones de extinción en masa? ¿Existen otras causas de extinción en masa que estén mejor documentadas? La respuesta a estas preguntas se encuentra en el registro fósil, pero este registro está deteriorado debido al paso del tiempo y los estratos son como las hojas de un libro antiguo que está escrito en clave geológica, por lo cual no es fácil interpretarlo. Además, existen polémicas entre los investigadores, ya que no siempre se utiliza la misma metodología ni la más adecuada, llegando a conclusiones diferentes. En consecuencia, las respuestas científicas a lo que realmente ocurrió son aproximaciones a la realidad que dependen de diferentes factores. Muchos aspectos son muy bien conocidos, pero existen bastantes otros en los que aún no se ha alcanzado ningún tipo de consenso entre los investigadores.

IMPACTOS METEORÍTICOS

Las ideas uniformitaristas de Hutton y Lyell, que postulaban que la Tierra había sufrido cambios lentos y continuos durante largos períodos de tiempo, han condicionado la formación de las recientes generaciones de geólogos, hasta tal punto, que muchos se han resistido a aceptar los efectos catastróficos que producirían los impactos meteoríticos. Algunos incluso todavía niegan las evidencias de impacto, buscando explicaciones *ad hoc* y prefiriendo las teorías gradualistas. Por el contrario, otros tienden a magnificar las teorías impactistas, surgiendo así un neocatastrofismo que trata de atribuir un impacto meteorítico a cada evento de extinción en masa.

La hipótesis de Álvarez y colaboradores, proponiendo que un gran meteorito impactó en el límite Cretácico/Terciario (K/T) hace 65 millones de años, se ha convertido en teoría cuando otros científicos han podido comprobar que existen una serie de evidencias de impacto que se concentran en ese límite.

La primera y principal evidencia fue el hallazgo en Gubbio (Italia) y en Caravaca (Espa-

ña) de una elevada concentración de iridio, elemento que es muy raro en la Tierra, y muy abundante en los meteoritos. Concentraciones anómalas de otros elementos abundantes en los meteoritos también se han encontrado en distintos lugares del mundo, tales como las espinelas de níquel, que son minerales ricos en hierro y níquel resultantes de la oxidación y fusión de los



meteoritos. Otra evidencia importante son los granos de cuarzo de choque que muestran distintas series cruzadas de estrías provocadas por las grandes presiones a que son sometidas las rocas cercanas al impacto. Además, algunas rocas impactadas directamente llegan a fundirse, y generan las microtectitas que permiten hacer dataciones absolutas que han confirmado la edad de 65 millones de años. Existen otras evidencias en la base de la arcilla del límite K/T que, junto al hallazgo de una gran estructura de impacto en la península de Yucatán (México), han permitido comprobar la teoría impactista.

Muchos autores han sometido a prueba la teoría tratando de falsarla (es decir, de comprobar si es correcta), tal y como otros muchos han hecho con la teoría de la evolución.

En este sentido, algunos cuestionan el cráter de Yucatán, y, especialmente, las evidencias de *tsunami* (ola de grandes dimensiones provocada por una causa geológica o extraterrestre, como un maremoto o un impacto meteorítico) que hay en el golfo de México. Pero las muchas evidencias existentes actualmente permiten afirmar que el impacto se produjo, siendo hoy, una teoría bastante sólida que está resistiendo todos los intentos de falsación.

Convencer a ciertos geólogos de que los grandes impactos han existido a lo largo de la historia de la Tierra no ha sido tarea fácil. El hoy incuestionable cráter de impacto de Arizona (EE.UU.), cuyo origen fue muy claramente puesto de manifiesto por Shoemaker, y cuya conservación permite apreciarlo con mucha claridad en las fotografías, tardó un cierto tiempo en ser aceptado por la comunidad de geólogos estadounidenses. Asimismo, el impacto meteorítico de comienzos de siglo en la zona de Tunguska (Siberia) ha tardado bastante tiempo en ser admitido. Sin embargo, después de la reciente observación en directo, con el telescopio Hubble, de grandes impactos en la superficie de Júpiter, poca duda cabe de que similares procesos se han producido a lo largo de la historia de la Tierra.

En la Tierra existen algunos cráteres incuestionables que han sido atribuidos a impacto meteorítico debido al hallazgo de evidencias tales como nanodiamantes, cuarzos de choque, tectitas, *ejecta* (material expulsado a causa de un impacto meteorítico o una erupción volcánica) de impacto, megabrechas, etc. Entre los más seguros se encuentra el cráter de Ries, en Alemania; el de Manicouagan, en Canadá; el Meteor y el

Detalle del límite K/T de Caravaca (Murcia). La lámina roja entre las dos monedas contiene las evidencias del impacto meteorítico.

La moneda de Franco se sitúa en los sedimentos del Cretácico, período en el que vivieron los grupos que se extinguieron: dinosaurios, ammonites, belemnites, foraminíferos, etc.

Detalle del límite K/T en Agost (Alicante). La cinta métrica descansa sobre el Cretácico y detrás de ella se encuentra la arcilla oscura del límite que ya pertenece al Terciario.



IPVUS, GEOLOGICAL SURVEY

El Barringer Meteor Crater, más conocido como el Cráter de Arizona (EE.UU.). A pesar de su buena conservación y de su forma, la comunidad de geólogos estadounidenses tardó en aceptar que su origen era debido a un impacto meteórico.

de Manson, en Estados Unidos, y entre los más dudosos, el posible cráter de Azuara (Zaragoza). El alemán Ernstson y sus colaboradores han conseguido publicar sus conclusiones en importantes revistas y el supuesto cráter de Azuara figura en casi todos los catálogos y mapas; sin embargo, Aurell y otros geólogos de Zaragoza y Barcelona han replicado cuestionando todas las evidencias aportadas. Éste es un caso de particular interés para los aragoneses y el resto de los españoles, pero tanto si finalmente se falsa como si se confirma la hipótesis, el resultado no afectará a la solidez de la teoría impactista.

EXTINCCIONES EN MASA

Al hablar de *extinción en masa* mucha gente la confunde con *extinción total* y se extrañan de que ciertos organismos sobrevivieran, y algunos

de ellos existan actualmente. Pero extinciones totales no ha habido ninguna en la historia de la Tierra más que en la mente de algunos naturalistas cuando aún no se disponía de datos científicos. Todavía en el siglo XIX el naturalista francés D'Orbigny proponía que se habrían producido 27 extinciones totales seguidas de otras tantas creaciones sucesivas. Pero este tipo de ideas fueron rechazadas por los evolucionistas y los uniformitaristas, atribuyendo estas conclusiones a las imperfecciones del registro fósil. Desde entonces los paleontólogos han encontrado numerosos fósiles, demostrando que el registro fósil no es tan malo, y que permite establecer todas las líneas fundamentales de la evolución de los organismos, comprobando que las

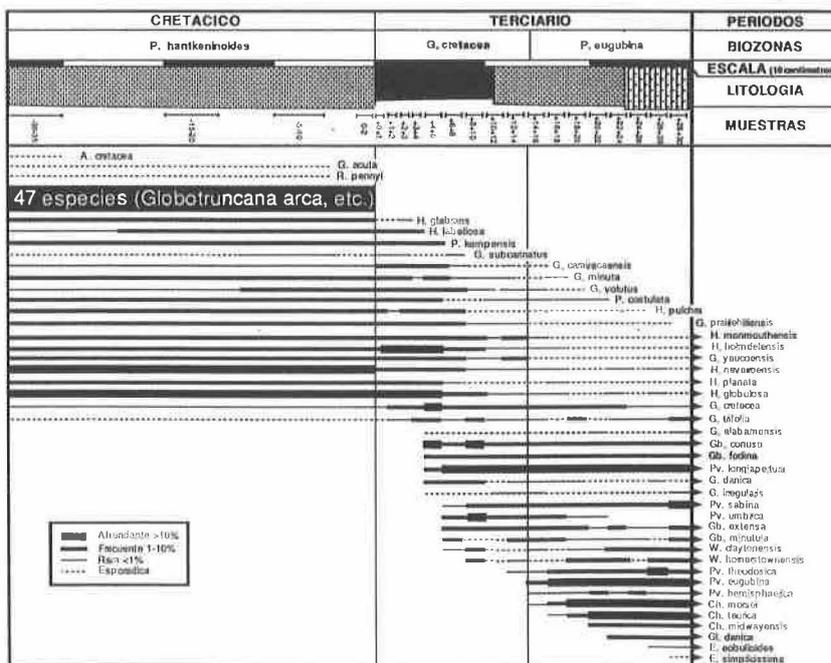
extinciones masivas son selectivas y sólo afectan a determinados organismos.

Aparte del proceso de extinción de fondo que está haciendo desaparecer especies de una forma lenta y continua, debido principalmente a causas de tipo biológico (competencia, endemismo, etc.), existen períodos de tiempo en los que la tasa de extinción se acelera mucho, dando lugar a eventos de extinción en masa, los cuales serían debidos principalmente a causas de tipo geológico o extraterrestre.

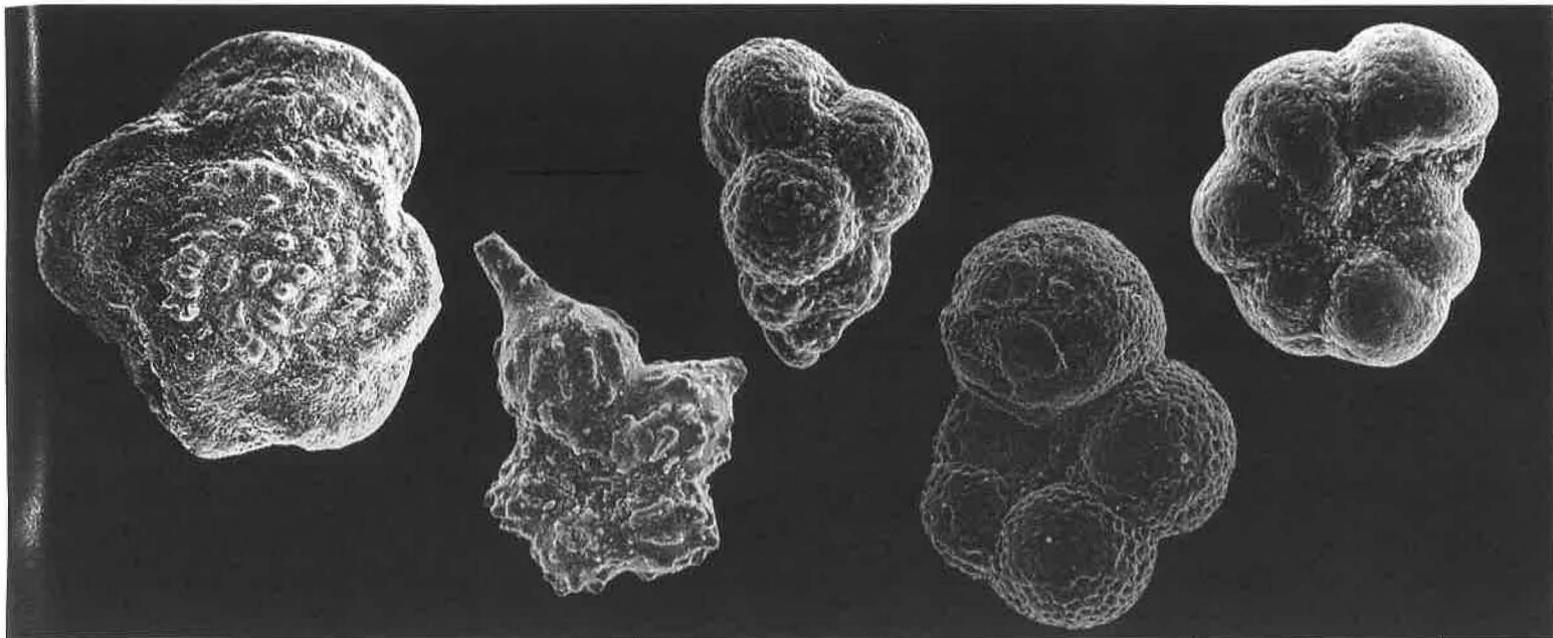
Existen dos modelos de extinción en masa: la gradual y la catastrófica, dependiendo de si la extinción se produce a lo largo de un período de tiempo o de una forma casi instantánea. Entiéndase que a escala geológica el período de tiempo que puede durar una extinción en masa gradual pueden ser millones de años y una extinción en masa catastrófica pueden ser de años, o incluso siglos.

En el registro fósil se han encontrado cinco grandes extinciones en masa acaecidas a finales del Ordovícico, Devónico, Pérmico, Triásico y Cretácico, así como otras también consideradas masivas pero que afectan a menos grupos de organismos, entre éstas se encuentran las de finales del Paleoceno y del Eoceno.

No todos los grupos de fósiles permiten conocer con igual precisión cómo



Distribución temporal de los foraminíferos planctónicos en Agost, mostrando que 47 especies se extinguen en coincidencia con la lámina roja que contiene las evidencias de impacto. Algunas de las 18 especies del Cretácico que parecen sobrevivir podrían estar resedimentadas en el Terciario.



se desarrollaron los eventos de extinción. Algunos grupos estuvieron muy restringidos a ciertos ambientes o fosilizaron muy raramente con lo cual resulta difícil establecer su modelo y causa de extinción. En este sentido, el registro de los dinosaurios es tan deficiente que se tardará tiempo en poder establecer con precisión si realmente existe relación de causa y efecto entre impacto y extinción, si bien los datos de que se dispone en España muestran que la extinción muy probablemente se produjo en el límite K/T, tal y como también les ocurrió a los *ammonites* (molusco fósil del grupo de los cefalópodos, con concha en espiral, abundante en el Mesozoico).

Ahora bien, el grupo de los *foraminíferos* (protozoos acuáticos que viven en el fondo del mar –bentónicos– o en suspensión –planctónicos–), por su amplia distribución y abundancia, son los más útiles y constituyen nuestras "cobayas" fósiles, a partir de los cuales se puede estudiar mejor los modelos y las causas de extinción. En este sentido, en la Universidad de Zaragoza se han realizado varias tesis doctorales: Arenillas, Arz y Canudo sobre el límite K/T, Ortiz sobre el Paleoceno y Gonzalvo sobre el Eoceno, por lo que disponemos de datos de primera mano.

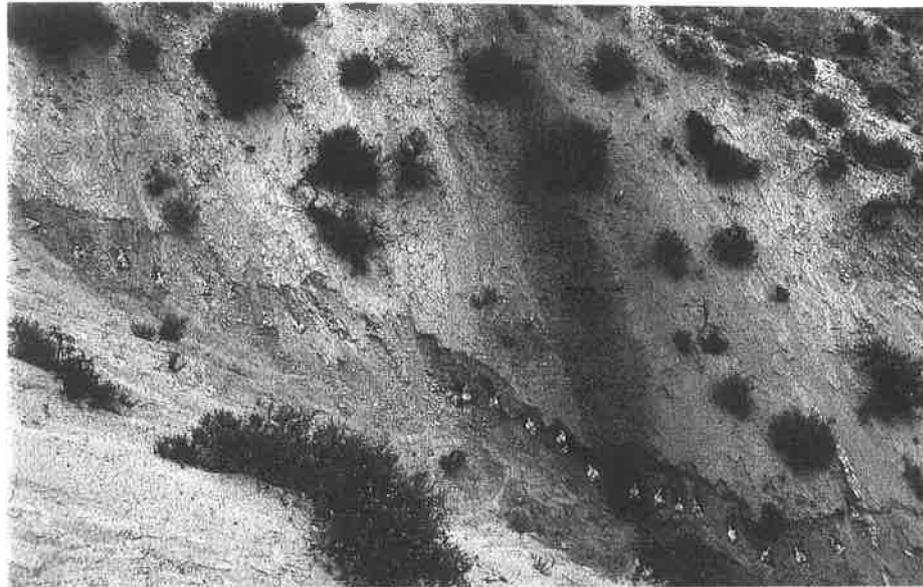
El evento de extinción del límite K/T es el más estudiado por ser la más reciente de las cinco grandes extinciones y ser el mejor conservado. Desde 1980 se han publicado muchos trabajos debido al interés despertado por el sensacional hallazgo de la anomalía de iridio por Álvarez en Gubbio. Una publicación en la revista *Nature* de Smit y Hertogen incluso se adelantó un mes a la de Álvarez en *Science*. El holandés Smit estaba trabajando en Caravaca (Murcia) y también encontró la anomalía de iridio, con lo cual estuvo a punto de adelantarse tal y como le ocurrió a Wallace y Darwin con la Teoría de la Evolución, pero la prioridad se le debe

a Álvarez ya que había comunicado su hallazgo en un congreso celebrado en 1979.

Los dinosaurios son el grupo emblemático de este evento de extinción, sin embargo ni en Gubbio ni en Caravaca existían, ya que se trataban de sedimentos marinos profundos y son los foraminíferos planctónicos los que en realidad eran muy abundantes y muestran una extinción masiva en coincidencia con el nivel de impacto. Los foraminíferos planctónicos están muy ampliamente distribuidos por todos los océanos por ser uno de los constituyentes esenciales del plancton marino. Su pequeño tamaño y gran abundancia permiten realizar muestreos muy detallados que reflejan la gran continuidad de su registro, los modelos y las causas de extinción. Los mejores cortes del límite K/T se encuentran en Túnez (El Kef, An Settara) y en España (Agost -Alicante-, Caravaca -Murcia-, Zumaya -Guipúzcoa-) y han sido estudiados por numerosos investigadores de forma multidisciplinar.

En lo que respecta a los foraminíferos planctónicos en la última década ha habido una gran polémica protagonizada por Smit y Keller. Esta última, investigadora estadounidense, defiende un modelo de extinción en masa gradual que despierta simpatías entre los partidarios del vulcanismo como causa de extinción, pero sus datos han sido muy cuestionados por los especialistas. Su patrón de extinción gradual en el Cretácico terminal es consecuencia del efecto Signor-Lipps, consistente en que las especies más raras parecen extinguirse gradualmente antes del límite, pero si se realiza una búsqueda intensiva se acaba viendo que la extinción se produce simultáneamente en coincidencia con el límite K/T. Otras especies parecen sobrevivir pero algunas de ellas están en realidad resedimentadas. Según nuestros datos los foraminíferos planctónicos muestran un patrón de extinción

Fotos con microscopio electrónico de los foraminíferos planctónicos. De izquierda a derecha, las dos primeras son dos especies que se extinguen en el límite K/T; la siguiente es una especie que sobrevive, y las dos últimas son dos especies que evolucionan en la base del Terciario



Detalle del límite Paleoceno/Eoceno en Alamedilla (Granada). El estrato rojo de arcilla corresponde a un fuerte aumento de temperatura y a la extinción en masa de los pequeños foraminíferos bentónicos.

Curva de temperatura del Océano Atlántico en los últimos 70 millones de años. Dos extinciones en masa coinciden respectivamente con el fuerte aumento del límite Paleoceno/Eoceno y con el largo descenso del tránsito Eoceno-Oligoceno.

ción en masa gradual muy dudoso y poco evidente, que afectó a menos del 30% de las especies. A este patrón se superpone uno muy evidente de extinción en masa catastrófica que afectó a más del 70% de las especies, las cuales se extinguieron súbitamente en coincidencia con el nivel que contiene las evidencias de impacto meteorítico.

En el límite entre el Paleoceno/Eoceno, hace 55 millones de años, existe otra extinción en masa que afectó principalmente a los pequeños foraminíferos que vivían en los fondos marinos *batiales* (de 200 a 2.000 m de profundidad) y *abisales* (más de 2.000 m). El estudio en algunas localidades españolas está también siendo crucial para la solución de este problema.

Así en Alamedilla (Granada), Caravaca (Murcia) y Zumaya (Guipúzcoa) existe un nivel de arcilla en cuya base se produce la extinción en masa de los pequeños foraminíferos bentónicos. Los isótopos de oxígeno muestran que en ese momento se produjo la mayor subida de temperatura de todo el Terciario. En el corte de Zumaya hemos encontrado una pequeña y enigmática anomalía de iridio que es bastante anterior al evento de extinción. Sin embargo, lo

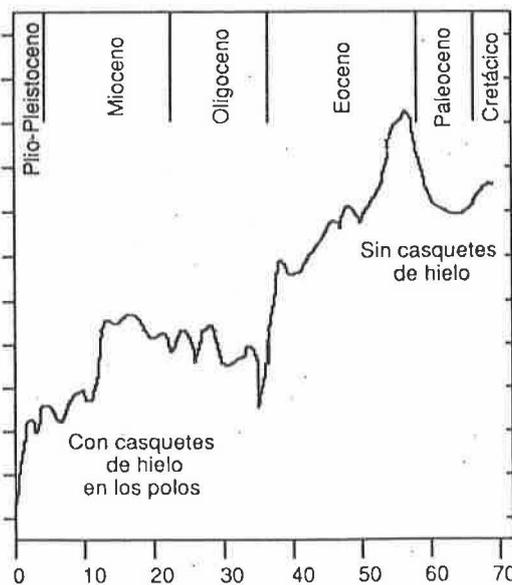
que en realidad provocó esta extinción fue la subida de temperatura que originó la producción de dióxido de carbono y metano, produciendo el efecto invernadero. La causa geológica del aumento de temperatura pudo ser el vulcanismo y el cambio de circulación de las aguas en los fondos oceánicos, producidos por la apertura del Atlántico Norte.

Durante el tránsito Eoceno-Oligoceno, desde hace aproximadamente 33 a 43 millones de años, se produjo otra extinción que afectó a muchos grupos de organismos, tanto marinos como continentales, que puede ser calificada de extinción en masa gradual, ya que duró casi diez millones de años. En numerosas localidades se han observado niveles con indudables evidencias de impacto meteorítico: anomalías de iridio, microtectitas, etc.

Sin embargo, las extinciones comenzaron mucho antes y acabaron mucho después por lo que no puede establecerse la relación causa y efecto, ya que las evidencias de impacto no coinciden con las extinciones, ni siquiera en los momentos en que la tasa de extinción se acelera (límites Eoceno Medio/Superior y límite Eoceno/Oligoceno). La causa de esta extinción en masa sería el deterioro climático consistente en un fuerte descenso de temperatura—puesto de manifiesto por los estudios isotópicos y los cambios faunísticos— que se produjo a lo largo de diez millones de años, dando lugar a la formación de casquetes de hielo en los polos y a la formación de la *psycrosfera* (capa de agua fría en los fondos oceánicos). No se conoce aún si la causa que originó este deterioro climático es de origen terrestre o extraterrestre.

CONCLUSIONES

Los grandes impactos meteoríticos son una causa de extinción tal y como está siendo comprobado en el límite Cretácico/Terciario. Sin embargo, actualmente no existen otros eventos de extinción en masa para los que se haya demostrado que la causa de extinción fuera el efecto catastrófico producido por el impacto de un gran meteorito. Es posible que algún día se encuentren evidencias de impacto para alguna de las otras extinciones en masa que ocurrieron en el pasado. Sin embargo, los ejemplos aquí expuestos indican que las causas son diferentes en cada evento de extinción. Así como que los impactos meteoríticos, tales como los del Eoceno superior, no debieron ser de suficiente magnitud para producir extinción en masa, y sólo provocarían desapariciones locales en el área de impacto, que sería poco después recolonizada, tal y como ocurrió con el histórico impacto en Siberia.●



IMÁGENES CORTEJÍA DEL AUTOR