

LA LÓGICA DE LAS EXTINCIONES: EL FACTOR CALCIO

Por: **Dario Gil Torres**

*Biólogo MSc. Investigador asociado Grupo Biogénesis Bioantropología
(U. de Antioquia)*

William Álvarez G.

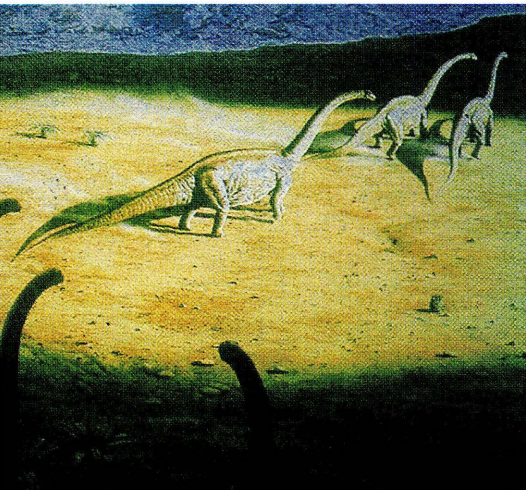
*Médico Otorrinolaringólogo. Investigador asociado Grupo Biogénesis-Bioantropología
(U. de Antioquia)*

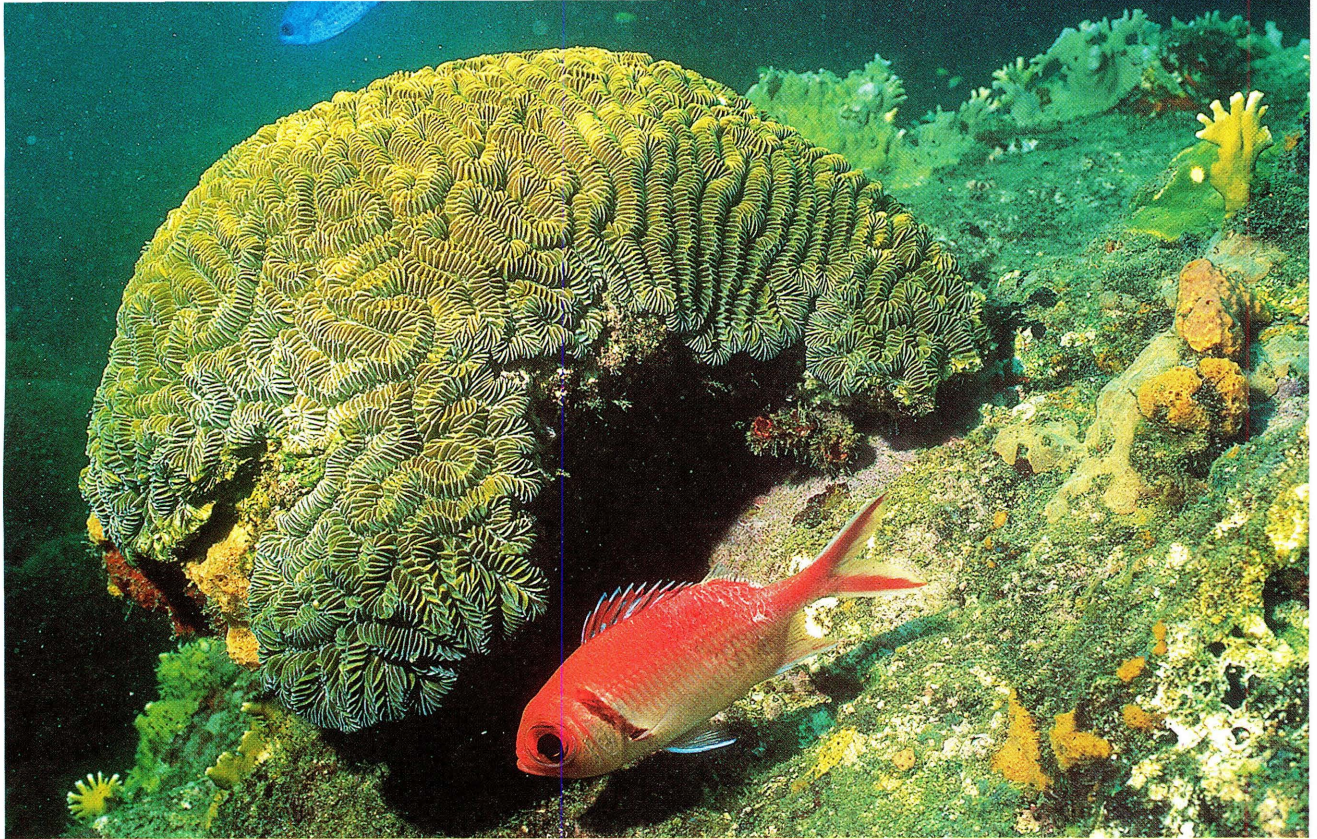
**EN SUMA, LA MAGNITUD
DE LAS EXTINCIONES
NO DEPENDE TANTO
DEL AGENTE
DESENCADENANTE, COMO
DE LAS CONDICIONES
INTRÍNSECAS DE
LA BIOSFERA.**



Por muchos años las extinciones han sido vistas sólo como una intervención contingente del entorno. Así, el debate sobre la del Cretáceo se ha centrado actualmente en dos hechos debidamente registrados: el impacto de Chicxulub y el vulcanismo generalizado de los Traps de la India. En contra, nuestro estudio, al desglosar que una alteración en el metabolismo del calcio fue el común denominador más relevante generado por el golpe de gracia contra los organismos extintos en el límite Cretáceo/Terciario, postula que dicha extinción fue causada por el mismo sistema biológico, aunque catalizado por una intervención causal del entorno, tal una extrema oscuridad producto de una exacerbación del tipo piroclástica excepcionalmente enriquecida en ácido sulfúrico que llevó a una baja densidad óptica de la atmósfera. Y, dado que el metabolismo del calcio en la biota es sustancialmente modulado por la radiación luminosa, otra propuesta en esta contribución es señalar su papel en la especiación en general tanto como en los llamados “equilibrios puntuados” observado en el registro fósil de las especies. De ahí que extrapolar nuestro asunto a las otras extinciones no resulte forzado, ya que también, según sustentaremos, responden a idéntica lógica. En conclusión, inferimos que las extinciones, aunque catalizadas por fenómenos ambientales, obedecen a mecanismos entrañablemente biológicos, como sería la regulación de calcio en todo el sistema.

Se sabe que el magma de erupciones volcánicas del tipo piroclástico o andesítico, al ser más viscoso, soporta aumentos extraordinarios de presión, por lo que sus eventos pueden ser muy explosivos y excepcionalmente ricos en ácido sulfúrico, tanto o más que el generado por un gran bólido extraterrestre contra corteza de caliza y anhidrita. Así mismo, que las grandes erupciones tienen efectos sobre el clima mundial que duran varios años, y ello por el azufre liberado. Con la radiación solar éste se convierte en dióxido de azufre, el cual se combina con vapor de agua para formar pequeñas gotas de ácido sulfúrico que tardan más de dos años en caer sobre la tierra.





Fotografía: Camilo Gómez Durán. Archivo Colciencias

Una escalada de esa magnitud, al absorber las radiaciones solares y reflejarlas en el espacio, bien pudo provocar hace 65 millones de años un efecto parecido a un invierno nuclear, aunque sin radiación nuclear y de duración sustancialmente mayor que el producido por un impacto como el tan citado de Chucxulub.

Sin embargo la actividad volcánica del Deccan, a finales del Cretáceo, si bien no presenta disparidad con el Iridio ni con las otras anomalías químicas encontradas en la franja K-T (Cretáceo-Terciario), al durar milenios no satisface los datos que se tienen de una extinción gradual con características de contingencia súbita en su crepúsculo final. Por tanto, esta situación pudiera ser más plausible si dicha actividad volcánica fue, en uno de sus momentos, simultánea a un gran impacto. Y esto es lo que preferiblemente apunta a la idea que tenemos de una intervención causal del entorno que dé cuenta del límite K-T. Es decir, antes que excluir modelos vigentes, lo que propende nuestra tesis es más bien complementarlos, siempre y cuando no tengamos que recurrir necesariamente a causas exclusivamente extraterrestres para explicar las extinciones.

Recordemos que la erupción del Laki en Islandia (1783), siendo que liberó muy pocos kilómetros cúbicos de lava, fue seguido en todo el mundo por una niebla con un crudo invierno que eliminó aproximadamente el 75% del ganado y la cuarta parte de la población islandesa. Otra erupción, con secuelas por más de dos años y que enfrió sustancialmente el planeta, fue la del Tambora de Indonesia en 1815. También la del monte Agung de Balí en

1963. Más reciente la del Pinatubo (Filipinas, 1991) que, lanzando no menos de 15 millones de toneladas de dióxido de azufre, cubrió gran parte de la superficie terrestre. Otra, tan dicente como la última para sustentar nuestra tesis, es la del Chichón (México, 1982) que cubrió parcialmente con su nube estratosférica de ácido sulfúrico casi todo el hemisferio norte y parte del sur. Dicha erupción, con un contenido de azufre anormalmente alto para cualquier erupción y siendo semejante en tamaño a la de Santa Elena, fue 100 veces más densa¹.

Al demostrarse, pues, que la explosión del Pinatubo creó una nube cuyo volumen igualó al de las nubes estratosféricas polares de los dos casquetes juntos (equivalente a un doceavo de la superficie total del planeta), los estudios vulcanológicos nos permiten postular que una disminución luminosa de características crepusculares y que hubiese persistido al menos el tiempo suficiente para infringir los deletéreos sinsabores representados en la franja K-T, pudo hasta lograrse con el sinérgismo propiciado por una escalada de unos cuantos volcanes piroclásticos. Y esta situación no es tan remota, pues en vulcanismos generalizados ello sería de esperar dado que, por lo general, las erupciones extremadamente ricas en ácido sulfúrico se presentan en la confluencia de placas tectónicas, como en efecto lo fue el caso del Deccan. Incluso, hoy día es viable dado que existen más de una docena de volcanes activos.

¹ Lemarchand F. Erupciones en cadena a lo largo del cinturón de fuego. Mundo Científico 119: 1213-1916. 1991.

¿HABRÍA SURGIDO EL RAQUITISMO CON LOS GRANDES VERTEBRADOS?

Hoy se conocen ciertos desarrollos ambientales y sociales que han llevado una notoria incidencia, en los humanos, de raquitismo (osteomalacia). Esto es particularmente alarmante en el caso de los ancianos que se internan en asilos o permanecen dentro de la casa sin recibir una exposición adecuada de luz solar. Esto mismo ocurre con migrantes de áreas de franca exposición lumínica a otras de exposición limitada y más en personas que habitualmente se cubren con excesos de ropa. Este fenómeno fue reportado de 1950 en Gran Bretaña, principalmente en comunidades negras inmigrantes de la India y Paquistán; y recientemente en niños de comunidades similares que viven en Escandinavia^{2,3}. Para completar, facto-

Se han notado callos óseos secundarios a fracturas y lesiones de cáncer en los huesos de los dinosaurios. Recientemente, por ejemplo, se han reportado gota y también otras alteraciones metabólicas (incluidos los exhibidos en el Royal Ontario Museum y por Christopher McGowan), que presentan, según conceptuamos, evidencias de exostosis en varias partes del esqueleto sugiriéndonos, entre otras, lesiones por disminución en la absorción de calcio.

Sin embargo, y aunque indirectamente el correspondiente dato estratigráfico ha correlacionado un pico de oscuridad ambiental, tal noxa en el registro fósil no nos ha sido fácil de encontrar. Proponemos que, a instancia de su peso, los grandes dinosaurios pudieron desplomarse por el dolor muscular que, desde la instauración de esta enfermedad, es su primer síntoma. Las consecuencias para la supervivencia, a causa del dolor, serían suficientes para privarlos de la adquisición de recursos energéticos, aun

▶ EN UNA VERDADERA LABOR DETECTIVESCA, Y USANDO LA ETOLOGÍA COMPARADA, MUCHOS BIÓLOGOS HAN COMENZADO A DEVELAR SECRETOS DE LA VIDA DIARIA DE LOS DINOSAURIOS.



Revista Innovación y Ciencia, Vol II No. 3, Jul - Sep de 1993

res sociales han llevado a la carencia nutricional que asociada a falta crónica de exposición a luz solar, aumenta aún más el riesgo de contraer la enfermedad⁴.

El raquitismo, en su primera etapa, presenta decremento moderado de calcio, que se exagera al final donde el nivel del colecalciferol (principal metabolito de la vitamina D y dependiente de radiación solar) se disminuye a concentraciones casi indetectables, dando como resultado una baja absorción de calcio. Así, la cantidad de calcio en suero es insuficiente para la mineralización del hueso, lo que representa el proceso de ablandamiento del tejido óseo, dada la necesidad del mineral en toda la economía corporal, acompañándose a su vez de zonas de excrecencias óseas o exostosis^{5,6}.

Ahora bien, con frecuencia los fósiles de vertebrados aportan datos sobre daños o enfermedades del tejido óseo.

sin instauración de los defectos óseos patognomónicos del raquitismo.

No obstante, la interferencia de la radiación solar en el metabolismo del calcio también tuvo que ser deletérea para otros seres vivos como los arrecifes y demás comunidades coralinas cálcareas. Y aquí tales enfermedades si nos han sido accesibles en el registro fósil. En este contexto, una característica que confirma el certificado de defunción de

2 Dawkins R. *The blind Watchmaker*. Longman Scientific & Technical, Longman Group UK limited. London. 1986.
 3 Reichholf J. *La aparición del hombre*. Ed. Crítica. Barcelona. 1990
 4 Harrison's: *Principles of internal medicine*. 14° ed. McGraw Hill Book Co. N.Y. 1997.
 5 Salter R.B. *Trastornos y lesiones del sistema musculoesquelético*. Salvat eds S A. Spain. 1978.
 6 Robbins S.L. *Patología estructural y funcional*. Interamericana. México. 1975.

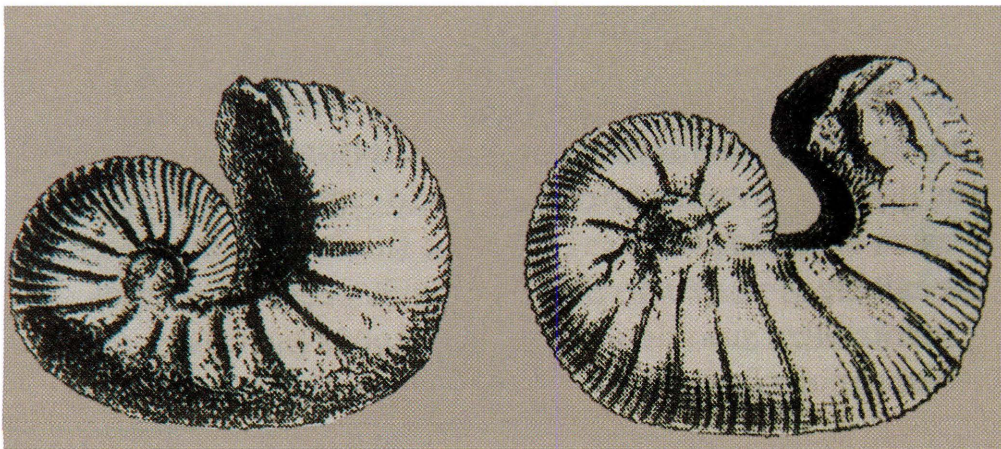
los amonites, de finales del Cretáceo, es que su enrollamiento calcáreo fue, en muchas de las muestras que conocemos laxo o inexistente^{7,8}. Más aún, en el caso de los corales, foraminíferos y algas calcáreas, la disfunción metabólica del calcio ocasionó erosión e inhibición de su mineralización. (En aras al debido reconocimiento recordamos que fue S. Stanley quien primero señaló la relevancia que tienen la oscuridad y el enfriamiento en las extinciones en masa en los océanos.)

OTRAS DISQUISICIONES

En la historia de la vida un aspecto importante que no debe ser pasado por alto es la forma y el tamaño de los organismos; más aún la constitución y la conducta de las especies. De ahí que, pese a existir abundantes pruebas de que el tamaño grande ha ofrecido ventajas adaptativas in-

con los dinosaurios y los amonites y en forma relativamente súbita, los pterosaurios, ictiosaurios, plesiosaurios, la familia de lagartos mosasauridae, los belemnites, la gran mayoría de foraminíferos, corales, moluscos, equinodermos y algas calcáreas. Tampoco sobrevivieron organismos calcáreos de aguas someras; en cambio, vegetales y animales de comunidades de agua dulce resultaron escasamente afectados; tampoco sufrieron las globigerinas, único grupo de foraminíferos que ha medrado en aguas frías y oscuras; lo mismo las diatomeas y moluscos de aguas profundas; también sobrevivieron pequeños crocodilios y mamíferos.

Por esto se afirma que no sobrevivió ningún vertebrado de más de veinticinco kilogramos ni organismos calcáreos de aguas someras, y resulta que algo parecido a lo del Cretáceo sucedió en los otros tres anteriores intervalos de extinciones en masa bien estudiados bajo registros estratigráficos: Devonico superior representado por pizarras ri-



◀ LLEGADA LA EXTINCIÓN EN MASA QUE BORRÓ DE LA FAZ DE LA TIERRA A LOS ORGANISMOS MÁS MENESTEROSOS DE CALCIO, UNA CARACTERÍSTICA INUSUAL DE MUCHOS DE LOS AMONITES EN SU FINAL ES QUE SU ENROLLAMIENTO ERA LAXO O NO EXISTÍA (TOMADO DE MCGOWN, C., 1985)

mediatas, no ha sido así en el curso del tiempo geológico y de la evolución donde el tamaño pequeño ha resultado, en última instancia, el que ha comportado menor riesgo y por ende mayor éxito. Aunque algunos investigadores están convencidos de que en la hipertelia (crecimiento exagerado) reside la razón fundamental de la extinción de los dinosaurios, ello es insuficiente para explicar, por ejemplo, la extinción de los amonites o, al contrario, la supervivencia posterior a las catástrofes de peculiares especies de hábitat protegidos, como las que medran océanos profundos, grietas y resquicios terrestres, o las letárgicas con prolongados estados de éxtasis metabólica en forma de quistes o semillas, o de especies de composición estructural inerte como las que utilizan materiales diferentes al carbonato de calcio.

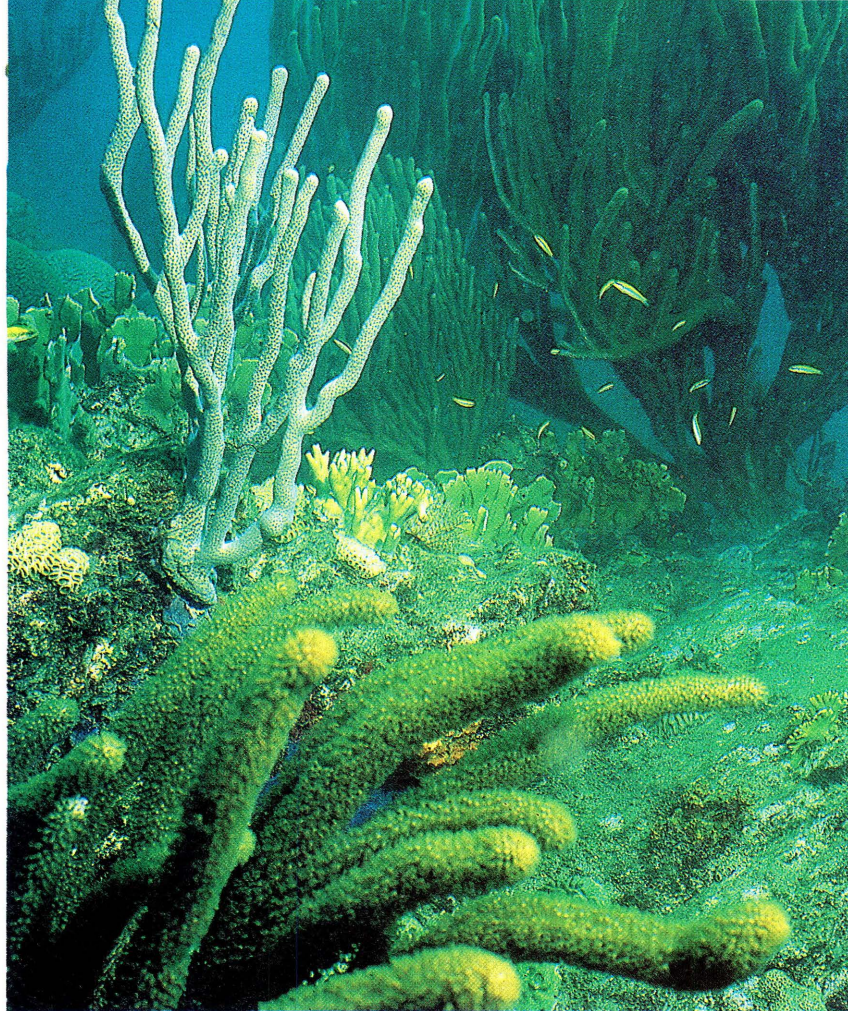
No es de extrañar, pues, que al finalizar el Cretáceo (kreta: tiza, carbonato de calcio) se hayan extinguido, junto

cas en caliza y materia orgánica, Cretáceo medio y Eoceno-Oligoceno representados por el carbonato de calcio de moluscos y plancton calcáreo.

A la luz de estos resultados obtenidos en las diferentes poblaciones —y a sabiendas de que los periodos climáticos de baja temperatura ambiental asociados a una pobre intensidad lumínica, actúan como un factor físico-químico adverso a la asimilación del calcio—, es que sostendremos, y unificada por cierto, la teoría de la *lógica del calcio* para explicar lo que ocasionó los grandes colapsos del pasado. Así, en el límite K-T el registro fósil es compati-

7 McGowan C. *Dinosaurs, spitfires, and sea dragons*. Harvard University Press. 1983.

8 Hernández M. *Trabajo de campo, Desierto de la Candelaria (Colombia)*. (en prensa). 1998.



◀ AL FINALIZAR EL CRETÁCEO SE EXTINGUIERON ALGUNOS CORALES, MOLUSCOS, EQUINODERMOS Y ALGAS CALCÁREAS.

ble con una extrema oscuridad deletérea al metabolismo del calcio, circunstancia que indujo atrofia o inhibición del crecimiento de conchas y tabiques en organismos calcáreos, y enfermedades como el raquitismo y alteraciones en la ovoposición en animales vulnerables a la limitación en la asimilación de este mineral. Es decir, en última instancia fueron ocasionadas por una intervención causal del entorno pero supeditada necesariamente al mismo sistema biológico.

Se va comprendiendo, entonces, cómo la *lógica del calcio* permite vislumbrar de manera coherente no sólo la primera fase de la extinción en masa tan contingente en su forma, sino la segunda fase de recuperación. De ahí que podamos contemplar las extinciones y las especiaciones como un generalizado fenómeno biunívoco y no tan enigmático, en donde la luminosidad constituye un factor sumamente importante que actúa como catalizador de dinámicos mecanismos interactivos en toda la biosfera.

Así pues, aunque se necesitan más comprobaciones mediante análisis bien detallados, esta propuesta podría ser la clave para explicar la lógica las extinciones en masa. Más aún que tiene incluso poder predictivo tanto en la naturaleza de la respuesta orgánica, como en la forma en que se desarrollan los sobrevivientes: ¡bajo las *restricciones del calcio* es la selección natural, y no el azar, lo que

determina que especies supervivientes habrán de repoblar de nuevo el planeta!

Entonces, ¿por qué esa supuesta oscuridad que ocasionó, a finales del Cretáceo, una contingente noche en la cual se despidieron los dinosaurios, no extinguió otros animales como mamíferos, peces e insectos? La respuesta sigue la misma *lógica*. Estando los mamíferos, por aquel entonces, relegados a los resquicios y a la oscuridad durante todo el Mesozoico (de ahí que su tamaño, comparable al de una rata, apenas si aumentó en uno que otro mamífero durante la larga era

de los dinosaurios), fueron menos menesterosos de calcio y de radiación solar y por ende menos vulnerables a una extrema oscuridad. Y si nuestros ancestros fueron mantenidos a raya durante el dominio de los grandes saurios, que enseñoriaron los nichos soleados.

Lo mismo tuvo que suceder con los peces frente a los ictiosaurios y plesiosaurios, lo que explicaría que la mayoría de los peces hayan salido casi incólumes, más aun que en los océanos siempre se ha dispuesto de fuentes luminosas hidrotermales, suficientes para los requerimientos metabólicos de especies menores.

En cuanto a los insectos, además de la propensión de sus larvas por hábitat protegidos, cabría la posibilidad de que la luminosidad necesaria para su fisiología siendo tan pequeña fuese obtenida de los remanentes de la contingencia aludida.

Hasta aquí la hipótesis de la *lógica del calcio* en las extinciones parece resultar sostenible. Pero caben otros interrogantes. ¿Qué de los otros organismos que salieron incólumes? Sabemos que una manera de contrastar una hipótesis sobre extinciones en masa es confrontar el modelo con su contrario o sea, en este caso, con todos los sobrevivientes. De insectos, peces y mamíferos ya elucidamos. En cuanto a los animales con caparazón y/o de considerable puesta de huevos como las tortugas, sabe-

mos que muchas especies pueden hibernar en el fondo de estanques reduciendo su tasa metabólica para sobrevivir. De hecho, éste es el caso de los galápagos pintados que se congelan cuando la temperatura desciende por debajo de los 0 °C, por lo que han de congelarse y descongelarse tantas veces como sea necesario antes de emerger pasado el crudo invierno⁹. Si dichas aptitudes las traen consigo desde antaño, nos parece más que favorables para conferirles a los quelonios haber soportado aquella tenebrosa noche.

Otro de estos exponentes es el grupo de globigerinas, que aún medran en aguas frías y oscuras mientras las formas foraminíferas análogas de aguas cálidas desaparecieron. Una explicación de su resistencia, hilvanada a nuestro asunto, es su poca dependencia de radiación lumínica. La misma explicación va para los nautilios, ya que suelen medrar a 400 metros de profundidad ascendiendo a los arrecifes sólo en la noche; también con las diatomeas que, teniendo la capacidad de entrar en latencia cuando las condiciones son adversas, se enquistan en el fondo del mar hasta que las condiciones mejoren. Referente a los protozoos, pertenecientes al zooplancton marino, la respuesta de su sobrevivencia es idéntica, máxime que presentaron, de todos modos, trastornos relacionados con el crecimiento, pues su tamaño se redujo a una décima parte del de sus predecesores. Abundando en lo mismo y consistente con nuestro asunto, es el caso de la disminución temporal de las fanerógamas versus un salto igualmente abrupto en los helechos¹⁰, menos ávidos, como sabemos, de radiación luminosa.

Continuando sin romper el hilo conductor, extrapolar esta extinción a la del Pérmico no debe resultar forzado. Si bien muchos de los taxones continuaron a través de la franja Pérmico-Triásico (Límite P-T), sin apenas verse afectados, en franco contraste con lo que a estos mismos les sucedió en la siguiente extinción, pareciera ser el resultado de adaptación a condiciones de luminosidad mucho más precarias, incluso, en aquel entonces. Más aún que sus comunidades bentónicas y plantónicas de aguas someras resultaron, como era de vaticinar, más severamente afectados que las faunas profundas; así mismo, la fauna costera y más del 75% de los vertebrados, reptiles en su mayoría; lo mismo insectos con alas fijas (cuya funcionalidad también requiere luminosidad). En efecto, resulta que la extinción del Pérmico, la más grande de que se tenga noticia, fue simultánea a otro gran vulcanismo generalizado, el de Siberia y el sur de China ocurridos precisamente hace 250 millones de años en el límite P-T¹¹.

En la extinción del Cuaternario también recae la posibilidad de un golpe de gracia ligado a un evento por el

estilo, ya que sucedió demasiado rápido para ser catalogada de una rutinaria extinción de fondo, no obstante haya sido gradual en la forma. Lo cierto es que la estocada sucedió al final del Pleistoceno y la mano del hombre no alcanza por sí sola a explicarla. Sólo conocemos que comprometió a animales terrestres de considerable tamaño o muy ornamentados (cuernos, astas y dientes descomunales, entre otros), es decir, más ávidos de calcio y por tanto vulnerables a un recrudescimiento de la glaciación, que no lograron sortear.

Finalmente resta dar luz al meollo más profundo de las extinciones como condición del proceso evolutivo. Extinción y especiación están ligadas a una dialéctica de interacción y esa dialéctica bien puede corresponder a la del calcio. Y qué mejor para ello que recurrir a los más enigmáticos aún dinosaurios pequeños y aves.

Sabemos que había dinosaurios del tamaño de una gallina y también sucumbieron. Pues bien, siendo generalmente su camada de huevos superior a la de aves, amén de ser considerablemente gruesos de cáscara, es razonable deducir que estas especies estuvieron a merced de la misma calciopatía que afectó, más que al tejido óseo y dentario, al cascarón calcáreo de sus propios huevos. De ahí que lo que exoneró a las aves de la extinción, además de ser ligeras de peso, fue la conformación de su camada: moderada en cantidad y delgada de cascarón. (En realidad, aunque aduciendo a un problema de descalcificación ocasionado por estrés emocional, como sucede a la avifauna actual, una progresiva pérdida del grosor de la cáscara del huevo en dinosaurios del Cretáceo tardío fue brillantemente sustentada por H. Erben).

Consecuentemente, la predictibilidad atinente a la segunda fase de recuperación responde perfectamente a nuestra *lógica*: la celeridad posterior a la extinción K-T - con que los mamíferos (y las aves), tras el vacío dejado por los saurios, se desarrollaron en número de especies y hacia un mayor tamaño y variabilidad-, es explicable gracias a la exuberante oferta tanto de calcio orgánico disponible, como de nichos expuestos a la radiación solar. Es, pues, como si la biota se mantuviera en una relación directamente proporcional con el calcio orgánicamente disponible bajo la orquestación de la radiación luminosa, a pesar, incluso, del equilibrio puntuado observado en las especies. La diada

9 Storey K.B. & Storey J.M. Frozen and alive. *Scientific American* 263: 62-67. 1990 173:58-64. 1991.

10 Orth C.J. et al. An iridium abundance anomaly at the palynological Cretaceous-Tertiary boundary in north-ern New Mexico. *Science* 214: 1341-1343. 1981.

11 Erwin D.H. The end-Permian mass extinction. *Ann Rev Ecol and System* 21: 69-91. 1990.

luz-calcio, magna reguladora físico-química de la biota explica, pues, las paradas y arranques observados en los fósiles, o el por qué las especies aparecen tan repentinamente y por qué permanecen tanto tiempo sin cambiar¹².

Conclusiones

Las hipótesis del impacto de L.W. Álvarez y del vulcanismo de los Traps del Deccan de D. McLean y V. Courtillot, si bien explican la inyección de cantidades de polvo a la estratosfera y la atenuación de la radiación solar acaecidas hace sesenta y cinco millones de años (con la consiguiente disminución de la fotosíntesis global, las lluvias ácidas y los grandes incendios forestales productores de hollín), no son congruentes con la cobertura y selectividad de los organismos comprometidos y subestiman lo intrínsecamente biológico. El debate principal con ellas estriba más en la dificultad de articular la cobertura de animales desaparecidos, como en cuán rápido ocurrieron las cosas, pues un golpe final de gracia que explique el límite K/T, necesariamente debió suceder. En contra, nuestra tesis, ratificando de paso que es principalmente el sistema vivo el que provoca la intervención del entorno, mejor se ajusta tanto a la cobertura, como al golpe de gracia, máxime que los volúmenes sulfúricos del impacto que dejó el cráter de Chicxulub, producto de una colisión contra la corteza continental ligeramente por debajo del mar, no son siquiera suficientes para producir los dramáticos cambios estimados en el pH oceánico durante tal extinción¹³. Así mismo, las esferas de basalto, que aparecen en la arcilla del límite, aunque apuntan a un impacto sobre suelo oceánico, podrían haberse generado más bien por una forma de vulcanismo, como reconocen incluso algunos de sus postulantes¹⁴.

En nuestra tesis consideramos que la gran extinción del límite K-T no fue debida a un colosal evento, así haya representado al agente inductor. Según lo postulado, con una baja densidad óptica de la atmósfera por su mayor contenido en ácido sulfúrico, pudo ser suficiente para darse la debacle invernal en los últimos momentos del Cretáceo. Una “*extrema oscuridad*” es suficiente para producir los efectos deletéreos en la síntesis orgánica de car-

bonatos de calcio tanto de organismos calcáreos, como de vertebrados superiores ya que, en general, el metabolismo del calcio depende tanto de factores nutritivos, como exposición solar, aunque en los primeros también del pH del medio. En realidad, una total oscuridad sostenida por más de dos años por un pico exacerbado de vulcanismo piroclástico basta para producir semejantes sinsabores en cualquier momento de la historia de la vida.

En suma, la magnitud de las extinciones no depende tanto del agente desencadenante, como de las condiciones intrínsecas de la biosfera. De aquí que las extinciones empiezan y actúan más severamente en ecosistemas tropicales de clima estable y altas temperaturas, que son los que han dominado el 90% de la historia de la Tierra. Se comprende una vez más (aunque, reconocemos, sin haberlo plenamente demostrado), que es por el sistema, por sus características propias, el que permite no la intervención contingente del entorno, sino la direccionalidad de ésta¹⁵; así mismo, que es la diada luz-calcio, mediante su correlación con la productividad y la cantidad de materia orgánica¹⁶, el factor más operante en la historia de la vida.&



- 12 Eldredge N & Gould S.J. *Punctuated equilibria: An alternative to phyletic gradualism*. In *models in paleobiology*, ed. T. J. M. Schopf. Freeman, Cooper & Co., San Francisco. 1972
- 13 Morgan et al. *Size and morphology of the Chicxulub impact crater*. *Nature* 390: 472-476. 1997.
- 14 McGowan C. *Dinosaurs, spifires, and sea dragons*. Harvard University Press. 1983.
- 15 Maturana R. H. *La realidad: ¿objetiva o construida?* Universidad Iberoamericana. 1996.
- 16 Macon T.T. *Freshwater ecology*. Longmans, London. 1963.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez L.W., Álvarez W., Asaro F. & Michel H.V. *Extraterrestrial cause for Cretaceous/Tertiary extinction*. *Science* 208: 1095-1108. 1980.
- Courtillot V. et al. *The Deccan flood basalts and the Cretaceous/Tertiary boundary*. *Nature* 6176: 843-846. 1988.
- Erben H. In Norman D. *Dinosaur*. Boxtre Limited. Cambridge. 1991.
- Mclean D.M. *Deccan volcanism and the Cretaceous-Tertiary transition scenario: a unifying causal mechanism*. *Sylogues* 39: 143-144. 1982.