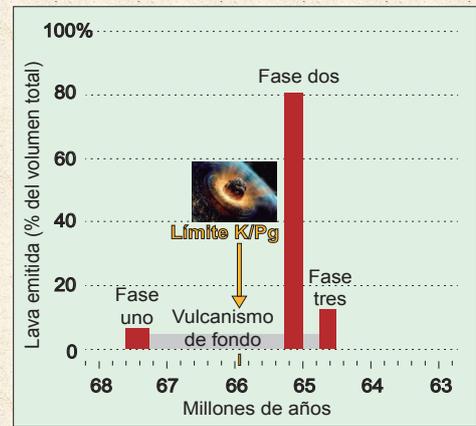


# LA GEOLOGÍA ES NOTICIA

CHICXULUB-DECÁN:

## ¿Una conspiración contra los dinosaurios?

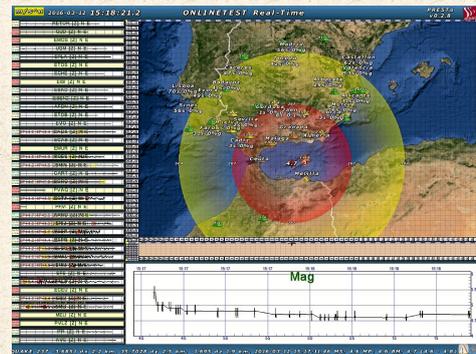
Francisco Anguita, José Antonio Arz,  
Ignacio Arenillas y Vicente Gilabert \_\_\_\_\_ (p. 240)



SISTEMAS DE ALERTA SÍSMICA TEMPRANA:

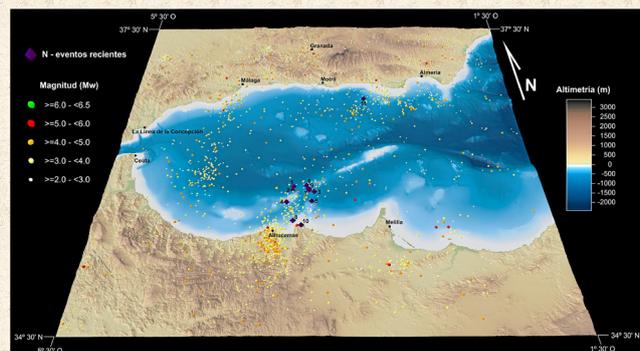
## Hacia la prevención de los daños de los terremotos

Elisa Buforn \_\_\_\_\_ (p. 244)



## La tierra tiembla bajo el Mar de Alborán

Adolfo Maestro, Fernando Bohoyo, Antonio Pedrera  
y María Gómez-Ballesteros \_\_\_\_\_ (p. 247)



## Marte: nuevas evidencias sobre agua líquida reciente y habitabilidad

Jesús Martínez-Frías \_\_\_\_\_ (p. 250)



# CHICXULUB-DECÁN: ¿Una conspiración contra los dinosaurios?

FRANCISCO ANGUIITA<sup>1</sup>, JOSÉ ANTONIO ARZ<sup>2</sup>, IGNACIO ARENILLAS<sup>2</sup> Y VICENTE GILABERT<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Avenida de Portugal 3, 28011 Madrid (anguita@ucm.es)

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra e Instituto Universitario de investigación en Ciencias Ambientales de Aragón, Universidad de Zaragoza, E-50009 Zaragoza, España (josearz@unizar.es; ias@unizar.es; vicengeo@gmail.com)

La reciente publicación de un artículo (Richards *et al.*, 2015) en el que se propone que el impacto de Chicxulub desencadenó una fase paroxísmica de vulcanismo en la meseta del Decán (India) ha vuelto a poner de actualidad la confrontación entre las dos hipótesis que intentan explicar la extinción masiva sucedida en el límite Cretácico/Paleógeno (K/Pg).

No es la primera vez que se busca una causa múltiple para esta extinción (p. ej., Canudo, 2010). En este caso, sin embargo, hay una novedad: dos de los autores del trabajo, Walter Alvarez y Jan Smit, se cuentan entre los primeros propulsores, en 1980, de la hipótesis asteroidal. El que, tras años de combate contra la hipótesis volcánica (por parte de Smit, sobre todo), apoyen una solución de compromiso, ha sido interpretado como una especie de rendición. En su número de marzo, *Scientific American* (la revista matriz de *Investigación y Ciencia*) incluye la extinción del final

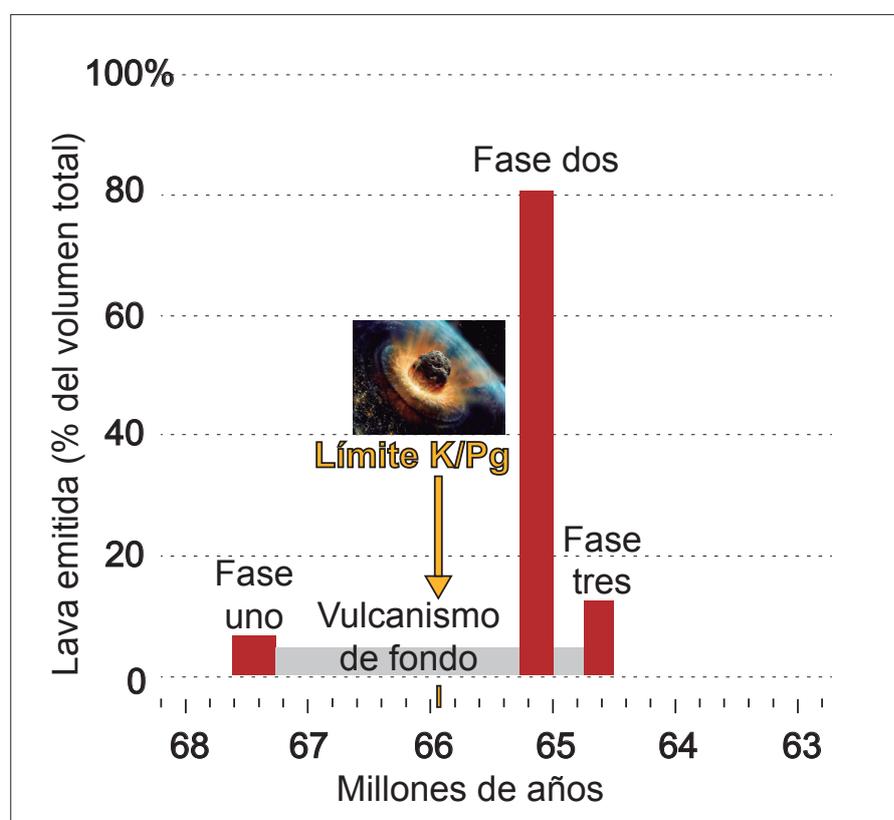


Fig. 1. Edades del vulcanismo del Decán publicadas en la revista *Science*. Modificado de Stone (2014).

del Cretácico entre las hecatombes biológicas de origen volcánico, aunque con la salvedad de que el impacto sería el causante de una intensificación del vulcanismo decisiva para la mortandad (Lee, 2016). Puesto que este tema ha sido tratado con cierta insistencia en las páginas de *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* (Canudo, 2010; Pardo *et al.*, 2011; Arz *et al.*, 2012), nos ha parecido interesante evaluarlo de nuevo ante lo

que parece suponer un cambio de postura de algunos de los protagonistas de uno de los grandes debates modernos en las Ciencias de la Tierra.

## El desencadenamiento de las mayores erupciones del Decán por el impacto de Chicxulub

Éste es el título del artículo de Richards *et al.* aparecido en el número de noviembre/diciembre de 2015 en

el *Bulletin of the Geological Society of America*. Entre sus diez firmantes, además de Alvarez y Smit, predominan los vulcanólogos (Leif Karlstrom, Michael Manga, Mark Richards, Stephen Self), pero también hay geocronólogos (Paul Renne, Courtney Sprain), mineralogistas (Sally Gibson) y geoquímicos (Loïc Vanderkluyzen). Seis de ellos, incluyendo a Alvarez, trabajan en la Universidad de Berkeley, y los restantes en las de Oregón, Pennsylvania, Amsterdam y Cambridge.

La característica más llamativa del trabajo es su tono dubitativo. Frente a la tajante afirmación del título, los autores autolimitan sistemáticamente sus hallazgos, con frases como “not well understood”<sup>1</sup>, “poorly constrained”, “not very precise”, o “inconsistent”. Otras, como “possibly”, “appears likely” o “are thought to” se encuentran hasta 11 veces, las mismas que “suggest”, aunque menos que “could be”, que aparece en 16 ocasiones. ¿Una muestra de modestia científica, o tal vez una solución de compromiso que contentase a unos autores de ideas distintas? En todo caso, el título del artículo contiene una promesa que su contenido se limita a proponer, pero no puede confirmar.

Un segundo tema que recorre el trabajo es el número de cabos sueltos que quedan pendientes de examen posterior: los autores no han podido determinar si el impacto produjo incrementos del vulcanismo en otros puntos del planeta, o si los restos fósiles (desde dinosaurios hasta foraminíferos) intercalados entre las coladas del Decán están *in situ* o reelaborados, algo decisivo para definir las edades de aquéllas. El más importante, desde luego, es la necesidad, que expresan repetidamente, de mejorar la precisión de las dataciones radiométricas del vulcanismo. No es raro encontrar al final de los trabajos científicos declaraciones de la intención de proseguir las investigaciones de determinados temas. Lo que parece extraño es que los autores hayan dejado pendiente de resolución definitiva el de las edades, ya que, en el esta-

<sup>1</sup> Hemos preferido respetar las expresiones en inglés. Las traducciones aproximadas de éstas serían: “mal comprendido”, “poco delimitado”, “no muy preciso”, “no concordante”, “posiblemente”, “parece probable”, “se piensa”, “sugiere” y “podría ser”.

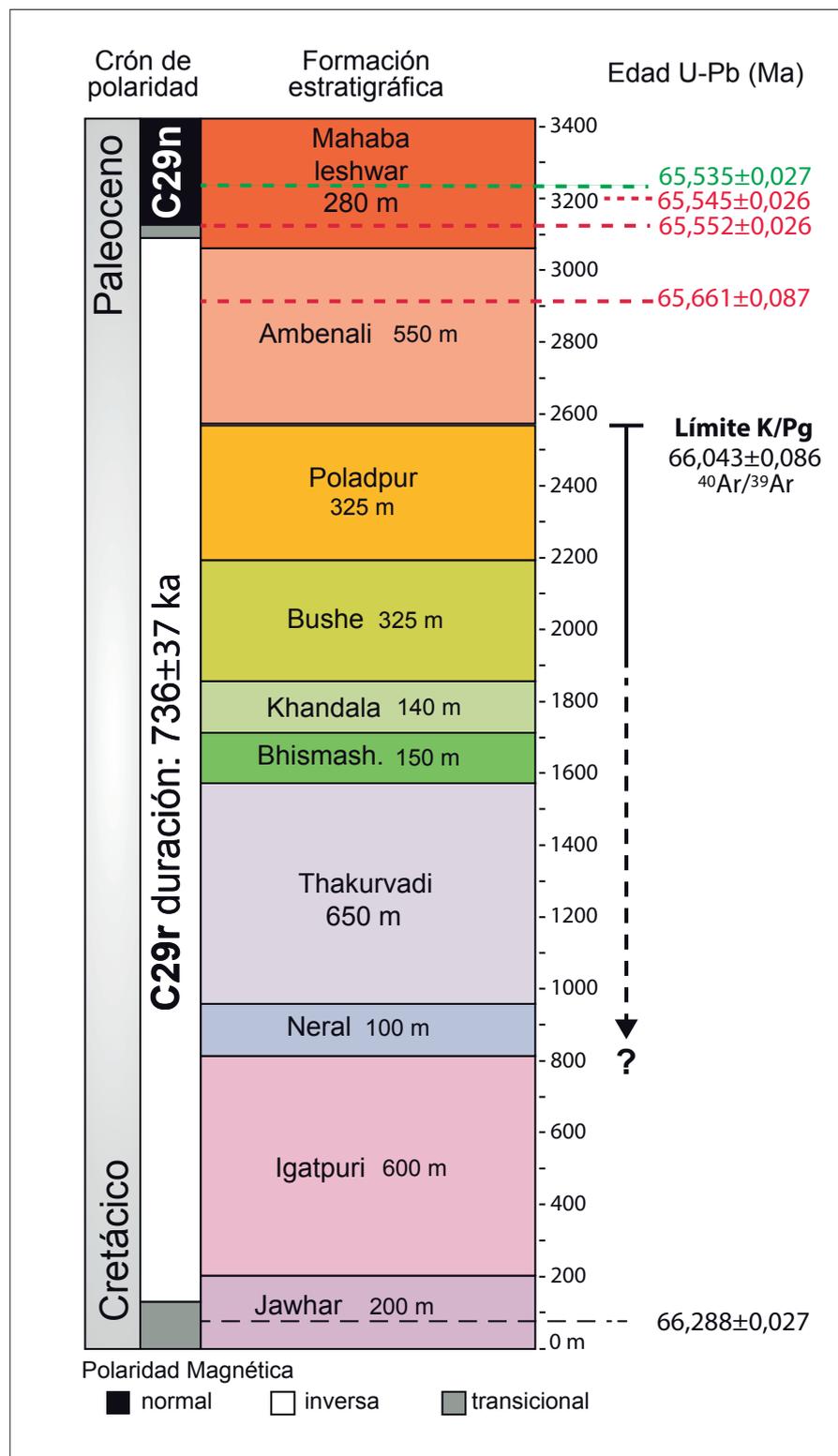


Fig. 2. Edades U-Pb del vulcanismo del Decán. La línea vertical con una flecha señala la situación del límite K/Pg con su margen de error. Las lavas de Jawhar (dato en negro) se formaron casi 300.000 años antes del límite K/Pg; las de Ambenali y Mahabaleshwar (datos en rojo y verde) son entre 300.000 y 450.000 años posteriores. Modificado de Schoene et al. (2015). Consultar la edición digital.

do actual del problema, éste es el punto decisivo. Por ello es interesante recordar la evolución de la cronología de la gran extinción, y la de los eventos que se proponen como su causa.

### Datando el límite K/Pg, Chicxulub y el Decán

Cuando la polémica comenzó, en los años 80, el límite se llamaba Cretácico/Terciario (K/T) y su edad era de

65 millones de años. Como todas las edades del calendario geológico, esta fecha se ha revisado a medida que aumentaba la precisión de las dataciones radiométricas y se obtenían más datos micropaleontológicos y paleomagnéticos. Mediante estos últimos se estableció que el límite había sucedido en una época de polaridad magnética opuesta a la actual, que pronto se identificó como el cron de polaridad 29R, cuyos límites están entre 66,398 y 65,688 millones de años. Esto descartaba la edad de 65 millones de años y también la de 65,5, que fue la siguiente propuesta. Actualmente, apoyándose en dataciones U-Pb (en circones) y  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  (en feldespatos), se ha alcanzado el consenso (esperemos que dure) de que el periodo Cretácico acabó hace  $66,04 \pm 0,02$  millones de años. Y como el siguiente periodo es el Paleógeno, el límite ha pasado a denominarse K/Pg.

La edad del impacto de Chicxulub en Yucatán ha seguido una evolución paralela. En Arenillas *et al.* (2006, con Alvarez entre los firmantes) se determinó con datos micropaleontológicos de alta resolución que el impacto de Chicxulub y las unidades litoestratigráficas asociadas son cronoestratigráficamente coincidentes con el límite K/Pg, por lo que la relación causa-efecto entre el impacto de Chicxulub y la extinción masiva del límite quedó corroborada. El estudio de los foraminíferos planctónicos, una de las herramientas fundamentales para analizar los cambios ambientales y climáticos del pasado, no indica ninguna variación ambiental apreciable antes del límite K/Pg, que pudiera relacionarse con el vulcanismo del Decán. De acuerdo a éste y a otros estudios similares, la extinción pudo ocurrir en unos pocos años. El único agente natural capaz de desencadenar una extinción en masa tan rápida es el impacto de un gran asteroide como el de Chicxulub. La datación radiométrica más precisa del impacto (Renne *et al.*, 2013, con Smit entre los firmantes) lo define también como sincrónico al límite K/Pg, con un error máximo de 32.000 años (una precisión de 0,04%). Es interesante recordar que Renne y Smit son también autores del trabajo que motiva esta nota. ¿Se estaba comenzando a urdir una alianza entre los bandos hasta entonces enfrentados? Lo que es seguro es que en 2013 se con-

FORMACIÓN ESTRATIGRÁFICA	EDAD (MA)	MARGEN DE ERROR $\pm 2\sigma$ (MA)
Mahabaleshwar	63,1	1,0
Mahabaleshwar	63,4	0,8
Mahabaleshwar	64,1	1,1
Mahabaleshwar	64,9	0,4
Mahabaleshwar	65,3	0,4
Mahabaleshwar	69,7	2,4
Ambenali	64,3	0,8
Ambenali	65,1	1,0
Ambenali	65,33	1,13
Ambenali	65,6	1,6
Ambenali	66,4	0,5
Poladpur	65,84	0,58
Poladpur	65,93	0,60
Poladpur	68,04	0,8
Bhimashankar	67,23	0,6
Thakurvadi	67,5	0,8
Thakurvadi	67,8	0,6
Thakurvadi	68,6	0,6
Neral	66,4	1,0
Neral	68,0	1,4
Igatpuri	66,5	2,0
Jawhar	65,7	1,5
Jawhar	66,1	1,3
Jawhar	66,1	1,6
Jawhar	66,4	1,3
Jawhar	66,4	1,2
Jawhar	67,8	0,6

Tabla I. Edades  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  del vulcanismo del Decán publicadas en el artículo de Richards *et al.* (2015) que motivó esta nota. En azul, las series del Subgrupo Wai. En rojo, las dataciones próximas al límite K/Pg. Las edades de la Serie Poladpur son las consideradas más significativas por los autores. En cambio, las series Neral, Igatpuri y Jawhar no se consideran lo bastante voluminosas como para influir en la extinción masiva. Se ha marcado (en verde) un margen de error mucho mayor que los restantes en una datación de la Serie Mahabaleshwar. La edad admitida actualmente para el límite K/Pg es de  $66,04 \pm 0,02$  millones de años. Consultar la edición digital.

firmó una vez más que había que contar con el asteroide de Chicxulub como protagonista de la extinción. ¿Único, o compartido?

La respuesta a esta pregunta hay que buscarla en las edades del vulcanismo del Decán. A diferencia del impacto, que es instantáneo en términos geológicos, la emisión de una gran provincia volcánica es un proceso que dura millones de años y que consta de distintos episodios separados por periodos menos activos. Al inicio del debate ya se conocía que las lavas estaban cubriendo zonas del oeste de la India desde millones años antes de que el asteroide se estrellase en Yucatán; pero la cuestión crítica era si la fase principal del vulca-

nismo, la única que podría causar una catástrofe ambiental que sirviese para explicar la extinción, coincidía o no con el límite. La figura 1 muestra edades aproximadas, publicadas en 2014, de 65 millones de años para esa fase; la figura 2 representa edades U-Pb obtenidas en capas de cenizas volcánicas del Decán y publicadas en 2015, que resultan ser o muy anteriores o muy posteriores al límite K/Pg.

Richards *et al.* presentan ahora una recopilación de 40 edades obtenidas por distintos autores entre 1988 y 2010. De ellas, los propios autores reconocen que 13 no son fiables. Las 27 restantes se recogen en la tabla I, cuya lectura evidencia que de las 14 dataciones de

la fase principal (el Subgrupo Wai), por su volumen la única sospechosa, 9 son posteriores al límite, 2 muy anteriores, y 3 coincidentes dentro del margen de error; sin embargo, éste es en todos los casos demasiado grande como para poder determinar una relación de causa a efecto con las extinciones. No olvidemos, en cualquier caso, que las cuatro edades U-Pb de lavas del Subgrupo Wai publicadas en 2015 son todas posteriores al límite K/Pg (Figura 2). La tesis del artículo es que algunas de estas series volcánicas se emitieron en periodos muy cortos, y por ello pudieron causar un severo efecto medioambiental; pero el principal argumento para esta hipótesis no es cronológico, ya que la precisión de las dataciones no es suficiente para afirmarlo, sino paleomagnético: la escasa (pero no cuantificada) deriva secular del polo magnético en algunas series muy potentes de coladas.

Esta sugerencia viene acompañada de otros argumentos. El principal de ellos es que sería demasiado casual que un gran impacto asteroidal (un evento al que los autores conceden una cadencia de uno por cada 3-4·10<sup>8</sup> años) suceda durante la emisión de una provincia volcánica importante (algo que sucede a un ritmo promedio de 20 a 30 Ma, con duraciones de 2-3 Ma) y no tenga con ella una relación de causa a efecto. Proponen los investigadores que la probabilidad de que un impacto se produzca durante la fase de máxima emisión (que estiman en unos 10<sup>5</sup> años) es de 1%. Sin embargo, todo este cálculo de improbabilidades queda en evidencia cuando revisamos la tabla I (cuya lectura literal es que la mayor parte de las series datadas no coincide con el límite K/Pg), y cuando los autores reconocen que ni la edad ni la duración de la fase de máxima intensidad de emisiones se conocen con precisión.

Queda, por último, por resolver cómo un impacto asteroidal puede causar un incremento drástico del vulcanismo a 13.000 km de distancia. Richards y su equipo admiten no disponer de un mecanismo comprobable, y proponen un aumento de la permeabilidad de la litosfera sobre el gran penacho térmico que estaba ya alimentando el vulcanismo del Decán. El cálculo teórico del tiempo de respuesta de la cámara mag-

mática al estímulo sísmico arroja un resultado muy impreciso: 10<sup>3</sup> a 10<sup>8</sup> años. Cualquier incremento del vulcanismo dentro de estos márgenes podría ser explicado teóricamente como un efecto del impacto; pero teniendo en cuenta las citadas deficiencias en el conocimiento de las edades reales del vulcanismo, no parece que este cálculo sirva para apoyar decisivamente la conexión Chicxulub-Decán.

### Conclusión provisional

Esta nota comienza con una pregunta, y es hora de intentar responderla. ¿Basta la colisión del asteroide para explicar la extinción del límite K/Pg? Con los datos actuales, la mejor respuesta es: aún no lo sabemos, aunque los mejores datos actuales apuntan a que es la hipótesis más probable. En cualquier caso, aunque las emisiones volcánicas de la provincia del Decán fueran importantes en los últimos cientos de miles de años del Cretácico, habría que preguntarse cómo habría evolucionado globalmente la biosfera si nunca hubiera tenido lugar el impacto de Chicxulub. Después de evaluar los datos contenidos en el artículo que comentamos, consideramos muy improbable que el vulcanismo del Decán por sí solo hubiese conducido a un evento de extinción masiva que acabara, entre otros, con los dinosaurios no avianos.

Hará falta que el amplio equipo de vulcanólogos y geocronólogos que trabajan en la India obtenga mejores datos, como reconoce que se necesitan. Éstos deberán demostrar con precisión, primero que la fase volcánica principal del Decán fue provocada o acelerada por el impacto de Chicxulub; y en segundo lugar, que produjo cambios ambientales lo bastante intensos y rápidos como para considerarse, junto con el impacto, causante activa de la extinción. De no ser así, debería reconocerse que el vulcanismo no tuvo ningún papel relevante en ella, a diferencia de lo propuesto para otras tres extinciones masivas. Parece, por tanto, fuera de lugar que se dé por resuelto (como hace Lee en *Scientific American*) un tema que todavía dará mucho que investigar, y discutir, a lo largo de los próximos años.

### Agradecimientos

Esta nota forma parte de los resultados del proyecto CGL2015-64422-P del Ministerio de Economía y Competitividad, cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional. ●

### Bibliografía

- Arenillas, I., Arz, J.A., Grajales-Nishimura, J.M., Murillo-Muñeton, G., Alvarez, W., Cargamo-Zanoguera, A., Molina, E. y Rosales-Dominguez, C. (2006). Chicxulub impact event is Cretaceous/Paleogene boundary in age: new micropaleontological evidence. *Earth and Planetary Science Letters*, 249, 241-257.
- Arz, J.A., Alegret, L., Arenillas, I. y Anguita, F. (2012). El evento del límite Cretácico/Terciario y la navaja de Occam. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20, 218-228.
- Canudo, J.I. (2010). Qué nos enseña la extinción de los dinosaurios sobre la historia de la vida y de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 18, 74-84.
- Lee, H. (2016). Anatomy of a mass murderer. *Sci. Am.*, 314-3, 56-57.
- Pardo, A., Keller, G. y Adatte, T. (2011). De México a la India: en busca de las causas del ocaso de los dinosaurios. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19, 149-161.
- Renne, P.R., Deino, A.L., Hilgen, F.J., Kuiper, K.F., Mark, D.F., Mitchell, W.S., Morgan, L.E., Mundil, R. y Smit, J. (2013). Time scales of critical events around the Cretaceous-Paleogene boundary. *Science*, 339, 684-687.
- Richards, M.A., Alvarez, W., Self, S., Karlstrom, L., Renne, P.R., Manga, M., Sprain, C.J., Smit, J., Vanderkluysen, L. y Gibson, S.A. (2015). Triggering of the largest Deccan eruptions by the Chicxulub impact. *GSA Bull.*, 127-11/12, 1507-1520.
- Schoene, B., Samperton, K.M., Eddy, M.P., Keller, G., Adatte, T., Bowring, S.A., Khadry, S.F.R. y Gertsch, B. (2015). U-Pb geochronology of the Deccan traps and relation to the end-Cretaceous mass extinction. *Science*, 347, 182-184.
- Stone, R. (2014). Back from the dead. *Science*, 346, 1281-1283.