

RÉPLICA

Réplica al artículo

“CONTROVERSIA CIENTÍFICA PARA EL AULA: ¿TIENE LA CUBETA DE AZUARA UN ORIGEN EXTRATERRESTRE?”

por Ángel Luis Cortés y M^a Begoña Martínez
(Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 7.2, 143-157)

Francisco Anguita (*), Álvaro Márquez (**) y Ferrán Claudín (***)

RESUMEN:

El artículo que comentamos carece de imparcialidad en la presentación de la hipótesis de impacto sobre la cubeta de Azuara, así como en la discusión previa sobre este mismo tema, y toma como base una epistemología relativista que, a juicio de los autores, contiene una visión incorrecta de la Ciencia.

ABSTRACT:

The paper commented on presents the impact hypothesis on the Azuara basin (NE Spain) in an unfairly way, and the same can be said of the previous discussions on this topic. Moreover, it is based on a relativist epistemology that, in the opinion of the present authors, conveys a wrong view of Science.

INTRODUCCIÓN

Por principio, hay que dar la bienvenida a cualquier material para el aula de Geología, y más aún si trata de Ciencia próxima y viva. Lógicamente, es necesario que este material esté basado en datos completos y aseguibles, y sea presentado con imparcialidad. A continuación intentaremos demostrar que el artículo que discutimos (Cortés y Martínez, 1999; en adelante se omitirá la cita completa, para evitar una repetición excesiva) no cumple estos requisitos imprescindibles.

FALTA DE IMPARCIALIDAD

Hay un grave desequilibrio entre el estilo con el que se presenta la hipótesis tectónica y el que se utiliza para explicar la de impacto. Mientras que la primera se plantea mediante frases rotundamente afirmativas, tales como “La estructura general del sector de Azuara corresponde a una cuenca sedimentaria de origen compresivo...” (pág 145/col 1/lín 41); “...se puede precisar que la cubeta de Azuara constituye un sinclinatorio...” (145/1/49); “Todas estas estructuras son el resultado de un acortamiento regional...” (145/2/8); “...la cubeta de Azuara se comportó como una cuenca sedimentaria...” (145/2/24), etc, la presentación de la hipótesis de impacto adopta por el contrario un estilo no

sólo dudoso e interpretativo (cuyas expresiones más definidas hemos señalado en cursiva), sino además cuajado de supuestas limitaciones que devalúan la validez de los datos: “A continuación se describen algunos de los argumentos que aportan Ernstson y sus colaboradores, *intentando mostrar* cómo han ido avanzando las investigaciones sobre el tema...” (145/2/58); “Sin embargo, [estos autores] *admiten que la investigación intensiva no es posible* debido a la existencia de una cubierta de más de 400 m de sedimentos terciarios.” (147/1/5; por cierto, esta imposibilidad sólo existe en las mentes de Cortés y Martínez: como puede comprobar cualquiera que lea el artículo citado [Ernstson et al., 1985, pág 363, col 1, lín 18-22], en él se describe la cobertera pero en ningún momento se dice que ella imposibilite la investigación); “...se estudia además el metamorfismo de choque, que *presenta diversas limitaciones*”, (147/2/13; una curiosa observación sobre la prueba más indiscutible, como indicaremos más adelante, y Cortés y Martínez reconocen en su apéndice, de que la cuenca de Azuara se formó a causa de un impacto); “...las brechas de dique y las megabrechas constituyen, *según estos autores*, una ‘peculiaridad tectonofísica’...” (147/2/24); “...*posibles* señales de metamorfismo de choque.” (148/1/17); “La presencia de bloques y cantos deformados y estriados *sería* consecuencia de los efectos de un choque moderado...” (148/1/29); “Los datos gravimétricos y magnéticos

(*) Departamento de Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense. 28040 Madrid

(**) Centro de Astrobiología (INTA). 28850 Torrejón de Ardoz (Madrid).

(***) Departament de Biologia i Geologia, IES Giola. 08030 Llinars del Vallés (Barcelona).

son presentados de nuevo...añadiendo las complicaciones existentes en la determinación de las evidencias de impacto debido a la tectónica alpina y viceversa.” (148/1/39).

La conclusión nos parece evidente: si un grupo de clase recibe estas descripciones de las hipótesis como fuente única de datos, sin duda quedará convencido de que la cuenca de Azuara es una cubeta tectónica.

LA PARCIAL PRESENTACIÓN DE UNA INTERESANTE POLÉMICA CIENTÍFICA

En 1993 apareció en la revista internacional *Geologische Rundschau* (‘Panorama geológico’) una discusión entre seis geólogos y geofísicos de las universidades de Zaragoza y Barcelona (Aurell et al., 1993), y los geofísicos alemanes Kord Ernstson y Johannes Fiebag (Ernstson y Fiebag, 1993). La controversia giraba en torno a un artículo publicado el año anterior en la citada revista por estos últimos autores. La reseña que Cortés y Martínez hacen de este intercambio acentúa el desequilibrio que hemos señalado en la sección anterior.

Así, en la discusión sobre una unidad (la Formación Pelarda) situada en el borde de la estructura, y considerada por Ernstson (Ernstson y Claudín, 1990) como eyecta (fragmentos expulsados por el impacto), escriben lo siguiente: “...formado, según las interpretaciones clásicas, por conglomerados fluviales de edad terciaria (), aunque interpretaciones más recientes las incluyen en el Pliocuatnario (...). Es decir, se conoce la edad de los materiales y el proceso claramente sedimentario que los originó.” Aquí, Cortés y Martínez caen en el dogmatismo que critican en la introducción de su artículo, al convertir en conocimiento indiscutible lo que ellos mismos han descrito como interpretaciones; lamentablemente, al obrar así no sólo vuelven a actuar con parcialidad, sino que escamotean al aula una preciosa discusión. Porque, ¿hay algo más científico que la denominación de “enigmática” que los autores clásicos (pero no tan antiguos: Moissenet et al., 1972; Carls y Monninger, 1974) asignaron a la Formación Pelarda, reconociendo que no podían explicarla? Y el enigma persiste, porque sigue siendo difícil explicar (en una interpretación “clásica”) una formación con abundantes bloques de tamaño métrico que están envueltos por la matriz (y por tanto difícilmente pueden ser fluviales) y llenos de estrías, y que corona la sierra más alta de la zona, una zona en la que no ha habido glaciares: un extraño depósito pliocuatnario en un extraño lugar.

A continuación (149/1/12), Cortés y Martínez dividen las evidencias a favor del impacto en dos grupos: las que se observan “a priori” (la supuesta forma circular) y las que “han sido cuidadosamente buscadas y utilizadas para la demostración de una estructura de impacto”. Nos es difícil entender el sentido de esta distinción; pues, ¿no consiste la

labor del científico precisamente en buscar datos que le sirvan para confirmar o refutar las hipótesis de trabajo que ha intuido? ¿Qué significa en este contexto supuestamente imparcial el adverbio *cuidadosamente*? Esperamos que sólo se refiera a los diez años de trabajo de campo del equipo de Kord Ernstson, que han quedado reflejados en diez Tesis de Licenciatura y una Tesis Doctoral. Porque gracias a ese trabajo (por cierto: en buena parte no financiado oficialmente) quien en este país ha querido aprender algo sobre impactos ha podido hacerlo.

Cortés y Martínez afirman (150/1/45) que “La réplica de Ernstson y Fiebag (1993) a los trabajos anteriores se basa en argumentos como *la escasa preparación de los geólogos españoles para estudiar impactos meteoríticos*.” La lectura del artículo citado permite comprobar que esta afirmación no corresponde a la verdad, pero esto (con ser mucho) no es todo: en el artículo que motivó la discusión, Ernstson y Fiebag (1992, pág 423, col 2, lín 39-51) hacían una caballerosa *defensa* de los geólogos españoles, que citamos sin traducir: “It is remarkable that the Azuara structure, although located in an accessible and well explored area, has never before been considered a geologic anomaly, not to mention an impact structure. It is emphasized that this is not a matter of Spanish geology or Spanish geologists. For more than fifty years and up to recent times, a large number of geologists from several European countries (France, Germany, the Netherlands) have worked in the Azuara region. This shows that even today many geoscientists appear not to be very well acquainted with the basic concepts of impact geology.”.

Curiosamente, el argumento de la nacionalidad se ha esgrimido en el debate sobre Azuara, pero lo ha sido en sentido inverso: en una carta (de fecha 25/5/94) de respuesta a otra de uno de los autores (F.A.) en la que éste les proponía colaborar para resolver, en el campo y ante el microscopio, el problema de Azuara, Antonio Pérez y Marc Aurell, profesores del Área de Estratigrafía de la Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza, además de negarse a toda colaboración, afirmaban formar parte de “un importante grupo de geólogos *españoles*, con un alto nivel científico” (cursiva nuestra). Teniendo en cuenta todo lo anterior, la pregunta de Cortés y Martínez “¿Qué opinas sobre el argumento de la escasa preparación de los geólogos españoles?” (150/2/18) no ha lugar, puesto que no se corresponde con la realidad. Nos parece justo sugerir que, en su lugar, los alumnos comenten las posibles razones por las cuáles los profesores Pérez y Aurell creyeron necesario hacer ostentación de su nacionalidad. Una formulación posible sería: “¿Tiene –o debería tener- fronteras la Ciencia?”.

La siguiente pregunta: “¿Se podría plantear paralelamente el escaso conocimiento de la geología de la Cordillera Ibérica por parte de los geólogos del equipo de Ernstson y la confianza en las carto-

grafías de detalle realizadas por investigadores de las universidades de Zaragoza y Barcelona?” (150/2/20) nos parece igualmente inadecuada, por dos motivos distintos: el primero es que en 1993 Ernstson ya había dirigido y presentado las once tesis citadas, lo que le confiere, creemos, cierta autoridad en la geología de esta región (que es, por otra parte, semejante a la de varias docenas de cadenas plegadas de estilo jurásico que existen en este planeta, algunas –como el propio Jura– bien cerca de Alemania). Hemos podido comprobar personalmente en el campo este dominio de la geología regional, y Aurell et al. también habrían podido hacerlo si hubiesen aceptado la invitación a que aludimos antes; así se habrían deshecho algunos malentendidos, como la supuesta confusión por el equipo de Ernstson de carniolas (una formación carbonática peculiar que corona el Keuper de la Ibérica) por eyecta.

El segundo aspecto, el de las cartografías de detalle, vuelve a estar planteado al revés por Cortés y Martínez: en la discusión citada, Aurell et al. se apoyan en la cartografía de escalas 1:50.000 y 1:200.000, mientras que Ernstson y Fiebag lo hacen en las realizadas por el equipo del primero, a 1:25.000 y 1:10.000. Quizás una buena pregunta alternativa para los alumnos (que no siempre comprenden bien las escalas cartográficas presentadas en forma de fracción) podría ser: “¿Qué equipo realizó la cartografía más detallada?”.

Las líneas 44 a 57 de la primera columna de la página 150 (en las que Cortés y Martínez supuestamente explican los argumentos pro-impacto) contienen tal acumulación de tecnicismos que nos parece imposible que un no experto entienda algo; en suma, este párrafo nos parece absolutamente inadecuado para una revista con intención didáctica. En cambio, al final se presenta un dato absolutamente revelador, pero éste llega de puntillas, de forma que sólo alguien versado en el tema puede calibrar su carácter decisivo. Nos referimos a la presión que denotan diversos rasgos de escala microscópica en las rocas de Azuara, que en el texto (línea 56) se cifra en >15 GPa. Los gigapascales (Gpa) no son una unidad tan corriente fuera del ámbito científico como para que todos los lectores de la revista la conozcan y sepan que un gigapascal equivale a 10 kilobares (kbar). Un gneis típico se forma a 3 o 4 kbar, y los esquistos azules generados bajo la elevada presión de las zonas de subducción tan sólo necesitan 9 o 10. Según se ha comprobado experimentalmente en laboratorios de alta presión, y en pruebas nucleares, microfracturas (cuyo nombre técnico es “rasgos de deformación planar”) como las que presentan los granos de cuarzo de la figura 1 se forman a presiones entre 100 y 500 kbar (Stöffler y Langenhorst,

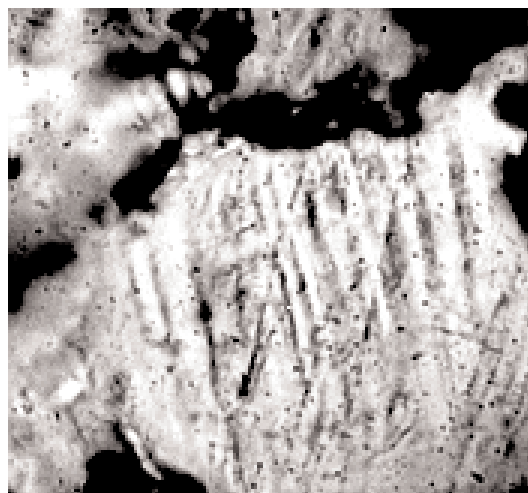


Figura 1. Rasgos de deformación planar en un grano de cuarzo de la Formación Pelarda, que aflora al sureste de la estructura de Azuara. Las líneas (que son microfracturas rellenas de vidrio) son paralelas a los planos cristalográficos ($10\bar{1}2$) y ($10\bar{1}3$); su distribución apunta a una presión de formación entre 100 y 160 kilobares. La imagen cubre un campo de 2 mm de anchura. Foto proporcionada por F. Claudín.

1994), lo que descarta que puedan ser explicadas a favor de ningún proceso geológico normal; sin embargo, teniendo en cuenta las dificultades de extrapolar desde un laboratorio al ambiente de una colisión asteroidal, la mayoría de los autores supone que la onda de choque de un impacto importante produce tan sólo presiones de entre 100 y 160 kbar. En la figura 2 se ha ilustrado este rango de condiciones, junto con las del metamorfismo regional, que queda nítidamente excluido como explicación, ya que las presiones bajo las que se produce ni siquiera se acercan a las de los impactos. La discusión sobre posibles orígenes alternativos se ha centrado sobre todo en las erupciones volcánicas explosivas (Carter et al., 1986), pero French (1990) y Grieve et al. (1990) presentan datos abrumadores en contra de los posibles orígenes volcánico o tectónico de los rasgos de deformación planar. El primero de estos autores recuerda que los defensores del origen tectónico de los rasgos de deformación planar llevan veinticinco años prometiendo (en vano) aportar ejemplos de estos rasgos formados bajo condiciones inequívocamente tectónicas. En suma, y tal como reconocen Cortés y Martínez en el apéndice de su artículo (156/2/34), los rasgos planares en cuarzos como los de la figura 1 son aceptados universalmente como criterio diagnóstico de un impacto asteroidal¹.

(1) Es importante señalar que los rasgos de deformación planar identificados al microscopio petrográfico en cuarzos de la zona de Azuara no han podido ser confirmados por otros investigadores (los alemanes Alex Deutsch y Falko Langenhorst) usando la técnica de microscopía electrónica de transmisión. Hay actualmente un debate sobre la representatividad de las muestras utilizados por estos autores.

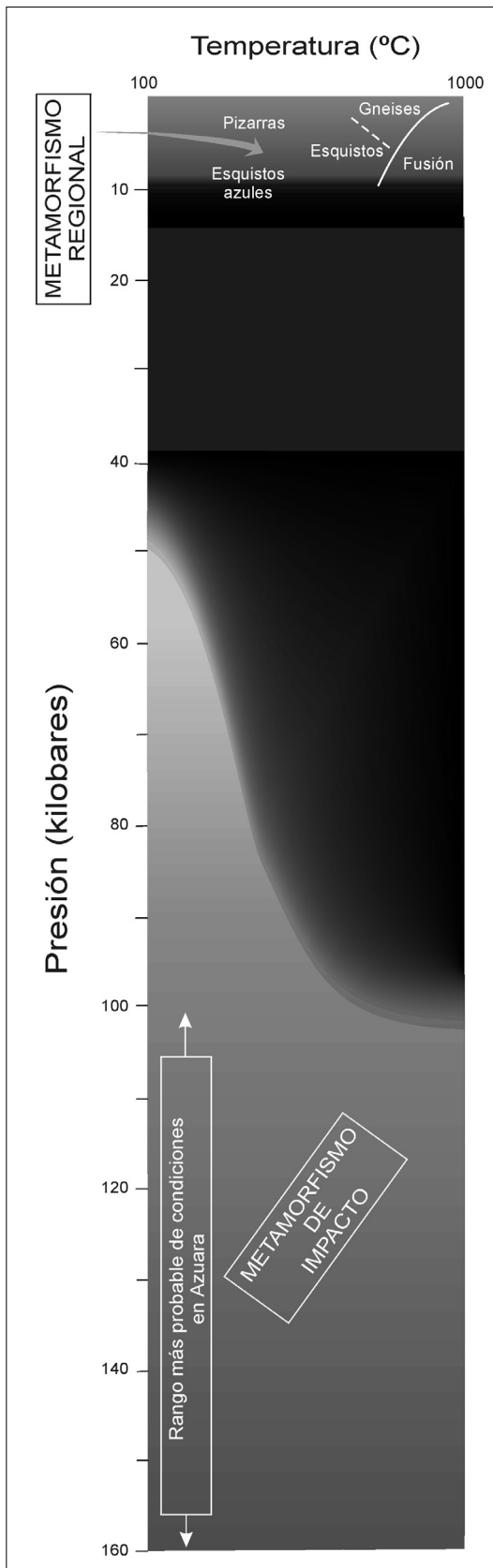


Figura 2. La presión deducida para las deformaciones planares de los cuarzos en la zona de Azuara comparada con las que tienen lugar en los procesos metamórficos.

LA EPISTEMOLOGÍA RELATIVISTA DE CORTÉS Y MARTÍNEZ

Con todos nuestros respetos para una eminencia del constructivismo como es Hodson, su cita (153/1/22) según la cual "...los científicos escriben para convencer a los lectores de que acepten sus conclusiones..." nos parece el colmo de Perogrullo. ¡Pues no van a escribir para convencerles de lo contrario de lo que argumentan! Algo más serio sería preguntarse si los autores tienen datos sólidos con los que convencer a sus lectores (y, antes, a los árbitros que han tenido que juzgar su trabajo). Profundizando en esta línea relativista, Cortés y Martínez plantean (como conclusión a una larga discusión sobre cómo distinguir las hipótesis científicas ciertas de las falsas) que "la elección [de una hipótesis por los científicos] se realiza fundamentalmente *por afinidades personales* con las ideas planteadas." (153/2/40).

Esta frase, que nos parece de importancia, puede leerse de dos maneras. Cortés y Martínez podrían estar refiriéndose a un problema de especialidades: un especialista en tectónica ve determinados aspectos, un especialista en impactos ciertos otros. Aquí nos parece esencial subrayar varias cosas: la primera es que ninguna universidad del mundo emite titulaciones de *impactólogo*, así que esos especialistas son simplemente especialistas en otra rama que han decidido estudiar algo más; la segunda es que dos de los firmantes de esta réplica (F.A. y Á.M.) han investigado (y siguen haciéndolo) en temas muy relacionados con la tectónica, de forma que no se consideran en absoluto ajenos a esta especialidad; en cuanto a Ernstson, puede que sea el único geofísico del mundo que maneja con soltura la platina universal [una plataforma móvil sobre tres ejes que se adapta a un microscopio petrográfico para localizar los ejes cristalográficos de un mineral]. La tercera y más importante es que, según aconsejó Karl Popper, y dada la naturaleza provisional de toda hipótesis de trabajo, los científicos deberían seguir aquella que más datos explique. Y mientras que determinados rasgos de la geología de la zona de Azuara sin duda son formas tectónicas, aún no hemos podido ver cómo los defensores de esta hipótesis explican los datos microscópicos. Ignorar un dato no hace que éste desaparezca.

La segunda lectura es que Cortés y Martínez estén instalados en el relativismo epistemológico, según el cual la objetividad de los datos es una falacia inventada por los científicos para conseguir reconocimiento social, cuando en realidad tanto los datos como su valoración son aceptados por cuestiones de autoridad, y en la práctica son el resultado de convenios entre los especialistas. No podemos estar más en desacuerdo con esta visión subjetivista de la Ciencia. No creemos que un asteroide de 1 km cayera sobre Azuara a finales del Oligoceno porque lo diga Kord Ernstson, sino porque lo dicen los 96 conjuntos de rasgos de deformación planar medidos por él (y confirmados por nosotros, tras unas cien horas de trabajo al microscopio, en muestras tomadas por nosotros mismos en el campo). El mismo lenguaje

hablan las anomalías gravimétricas (Fig. 3) obtenidas en una campaña geofísica de 340 estaciones (Ernstson y Fiebag, 1992). Etcétera. Que siete líneas más abajo de la última cita mencionada Cortés y Martínez nos recomienden "...insistir a los alumnos en que la objetividad está garantizada (...) porque las hipótesis están abiertas a la comprobación experimental, y disponibles para la crítica por parte de la comunidad científica" no nos tranquiliza en absoluto. Pues, ¿no está la tal comunidad compuesta, según los autores de la cita, por individuos que no se basan en los datos sino en las presiones del grupo al que pertenecen? Si hay que insistir a los alumnos en la objetividad final de la Ciencia es porque antes se les ha dicho que, por sistema, los científicos no son objetivos sino que adoptan a ciegas las hipótesis de los líderes de su grupo.

En realidad, esta forma de ver la Ciencia no nos sorprende, ya que constituye el núcleo de la epistemología constructivista radical. Probablemente el profesor de Ciencias español típico se sorprenda al

leer una postura distante del constructivismo, la pedagogía de referencia obligada desde hace algunos años. Sin embargo, queremos subrayar que la pedagogía constructivista (los preconceptos, etc) es sólo un producto final, y poco comprometido, de una filosofía postmoderna que algunos no vacilan en calificar de anticientífica. Leamos a un autor constructivista (Matthews, 1994) en una revista tan poco sospechosa de anticonstructivismo como es *Enseñanza de las Ciencias*: "...para la mayor parte de los constructivistas, nuestro conocimiento no nos informa en absoluto acerca del mundo, nos informa de nuestras experiencias y de cómo están organizadas." (p 82); y también (p 86): "Que sean tantos los que actualmente defienden la didáctica de las ciencias con las doctrinas de dos pensadores [Vico y Berkeley] tan profundamente anticientíficos, debe causar algún tipo de reflexión.". Se pueden encontrar ideas parecidas en otros ámbitos (p ej, Cromer, 1997). Creemos que este deprimente punto de vista sobre la Ciencia (como el posmodernismo en general) es una moda que pasará; entre tanto, pasearlo por las aulas nos parece una irresponsabilidad.

En general, la descripción de la Ciencia que destila el final del artículo de Cortés y Martínez, la de una tarea sometida a feroces presiones sociales y absolutamente dependiente de la financiación oficial, nos parece la más adecuada para disuadir a los alumnos de Secundaria de seguir una carrera científica, y en todo caso una visión muy personal: los autores hemos hecho mucho campo en la zona de Azuara pagando siempre los gastos de nuestros bolsillos: ¿Sin proyectos financiados por la todopoderosa Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología? ¿Es posible? ¿Dónde está el secreto? El secreto es no perder, a lo largo de la carrera académica, la vieja curiosidad por saber. Como solía decir a sus alumnos en su clase inaugural otro curioso, el Nobel de Física Richard Feynman: "*Yo soy un explorador, ¿entendéis? Me gusta encontrar respuestas...*"

CONSIDERACIONES FINALES

El presentar en clase una polémica científica abierta es una idea interesante; pero concretar esta idea no es sencillo, porque requiere dos condiciones que pueden no ser fácilmente compatibles: conocimiento del tema en profundidad (todo profesor sabe que sólo quien domina un tema a fondo puede explicarlo con sencillez) y neutralidad en la discusión. Nosotros jamás hubiésemos enviado a *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* un artículo supuestamente imparcial sobre Azuara porque conocemos demasiado sobre este tema para ser imparciales; pero se puede demostrar que uno de los autores del trabajo que discutimos tampoco lo es, ya que hace tiempo escribió un texto en Internet (Cortés, 1998) en el cual repetía los argumentos a favor de la hipótesis tectónica que los lectores de esta revista ya conocen, comentaba que *en Azuara no hay evidencias de metamorfismo de alta presión*, y que *las existentes (sic) estaban en rocas paleozoicas con deformaciones de sospechoso origen tectónico*.

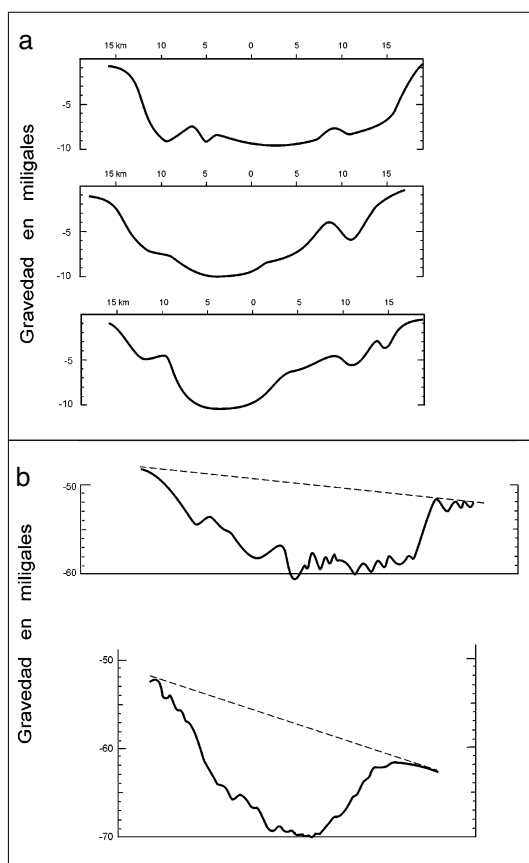


Figura 3. a) Perfiles gravimétricos realizados a través de la estructura de Azuara. El punto 0 corresponde al centro aproximado de la estructura. El mínimo de gravedad reflejaría la menor densidad de las rocas sedimentarias que rellenan el cráter; los máximos relativos se interpretan como debidos a rebote elástico. En Ernstson y Fiebag (1992).

b) Anomalías gravimétricas de los cráteres gemelos de Clearwater, en Canadá, a igual escala vertical. En Dence (1964).

Además de recordar que Ernstson (1993, Fig. 1) presenta pruebas de la existencia de vidrio diaplético (o sea, de minerales vitrificados por una onda de choque) en diques-brecha post-jurásicos (y por ello sin relación alguna con cualquier acontecimiento paleozoico), creemos que la figura 2 del presente artículo despeja muchas sospechas sobre la posibilidad de que los rasgos microscópicos de algunas rocas de Azuara se hayan formado a favor de procesos geológicos clásicos.

Tiene sin embargo razón Cortés (1998) en que el tema queda lejos de estar cerrado: no se han encontrado en Azuara materiales meteoríticos (pero esto es típico de los impactos de los asteroides no metálicos, que sistemáticamente se volatilizan en el choque; por otra parte, nadie se ha preocupado todavía de analizar níquel o iridio en las rocas de Azuara), ni conos astillados (salvo un ejemplar dudoso), ni formas de cuarzo de alta presión (aunque por desgracia el cuarzo es muy escaso). Pero recordemos de nuevo a Popper: los científicos deben adoptar *provisionalmente* la hipótesis más explicativa de las que compiten sobre un problema. No estamos seguros de si esto sigue siendo válido en una epistemología relativista; sí tenemos claro cuál es la hipótesis *provisional* que más datos de la apasionante geología de la zona de Azuara explica.

BIBLIOGRAFÍA

- Aurell, M., González, A., Pérez, A., Guimerà, J., Casas, A. y Salas, R. (1993). Discussion of "The Azuara impact structure (Spain): new insights from geophysical and geological investigations" *Geol. Rundsch.*, 82, 750-755. Reply por K. Ernstson y J. Fiebag, *Geol. Rundsch.*, 82, 756-759.
- Carls, P. y Monninger, W. (1974). Ein Blockkonglomerat im Tertiär der Östlichen Iberischen Ketten (Spanien). *N. Jb. Geol. Paläont.*, 145, 1-16.
- Carter, N.L., Officer, C.B., Chesner, C.A. y Rose, W.I. (1986). Dynamic deformation of volcanic ejecta from the Toba caldera: possible relevance to Cretaceous/Tertiary boundary phenomena. *Geology*, 14, 380-383.
- Cortés, A.L. (1998). Sobre Azuara. *Comunicación (2/6/98) al Foro científico sobre recursos geológicos del espacio*. MERGE@LISTSERV.REDIRIS.ES.
- Cortés, A. L. Y Martínez, M.B. (1999). Controversia científica para el aula: ¿Tiene la cubeta de Azuara un origen extraterrestre? *Ens. Ciencias Tierra*, 7, 143-157.
- Cromer, A. (1997). *Connected knowledge: Science, Philosophy, and Education*. Oxford Univ. Press, Nueva York.
- Dence, M.R. (1964). A comparative structural and petrographic study of probable Canadian meteorite craters. *Meteoritics*, 2, 249-270.
- Ernstson, K. y Claudín, F. (1990). Pelarda Formation (Eastern Iberian Chain, NE Spain): Ejecta of the Azuara impact structure. *N. Jb. Geol. Paläont.*, 10, 581-599.
- Ernstson, K. y Fiebag, J. (1992). The Azuara impact structure (Spain): new insights from geophysical and geological investigations. *Geol. Rundsch.*, 81, 403-427.
- Ernstson, K., Hammann, W., Fiebag, J. y Graup, G. (1985). Evidence of an impact origin for the Azuara structure (Spain). *Earth Planet. Sci. Lett.*, 64, 361-370.
- French, B.M. (1990). 25 years of the impact-volcanic controversy. *EOS*, 71, 411-414.
- Grieve, R.A.F. y Robertson P.B. (1987). *Terrestrial impact structures*. Geol. Surv. Canada, map 1658A, escala 1:63.000.000.
- Grieve, R.A.F. y Pesonen, L.J. (1992). The terrestrial impact cratering record. *Tectonophysics*, 216, 1-30.
- Grieve, R.A.F., Sharpton, V.L. y Stöffler, D. (1990). Shocked minerals and the K/T controversy. *EOS*, 71, 1792-1793.
- Matthews, M.R. (1994). Vino viejo en botellas nuevas: un problema con la epistemología constructivista. *Ens. Ciencias*, 12, 79-88.
- Moissenet, E., Canerot, J. y Pailhé, P. (1972). Géologie et relief dans la région de Montalbán (province de Teruel). *Mélanges Casa Velázquez*, 8, 1-47.
- Stöffler, D. y Langenhorst, F. (1994). Shock metamorphism of quartz in nature and experiment: I. Basic observation and theory. *Meteoritics*, 29, 155-181. ■