

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

*Scientific controversy for teaching: Is the origin of Azuara Basin extraterrestrial?*

Angel Luis Cortés Gracia y M<sup>a</sup> Begoña Martínez Peña (\*)

### RESUMEN:

Las controversias científicas y la resistencia de la comunidad científica a aceptar los cambios paradigmáticos constituyen un buen ejemplo de cómo se construye la ciencia. Los libros de texto y los currículos de ciencias de Secundaria presentan con demasiada frecuencia los cambios en el conocimiento científico prestando muy poca atención a la dinámica que los indujo. En este trabajo se presenta una controversia científica actual en geología, por lo tanto no resuelta, así como una propuesta didáctica que puede ayudar a los estudiantes a adquirir una visión sobre la naturaleza del conocimiento científico y las actividades de los científicos. El origen de la depresión de Azuara (Cordillera Ibérica) y su estructura geológica es interpretado por según distintos autores como consecuencia de 1) un impacto meteorítico, 2) el plegamiento tectónico terciario o 3) el emplazamiento de una masa granítica en profundidad. Los alumnos recibirán información sobre las distintas hipótesis y sobre la repercusión social de las mismas.

### ABSTRACT:

The scientific controversies and the resistance of the scientific community to accept paradigmatic changes constitute good examples about constructing science. School books and science curricula in Secondary Education usually pay attention on the scientific breakthroughs but not on the dynamics inducing them (historical background). In this work we present a present-day scientific controversy in geology, therefore not solved, and a didactic proposal that can help students to understand the nature of the scientific knowledge and activities. The origin of the Azuara Basin (Iberian Chain) and its geological structure are interpreted by different authors because of 1) a meteoritic impact, 2) the Tertiary tectonic folding or 3) the placing of a granitic mass in depth. Students will be given information about the different hypothesis and about the social impact of each one.

**Palabras clave:** controversia científica, hipótesis, geología, Educación Secundaria, impacto meteorítico, tectónica, pliegue, granito...

**Keywords:** scientific controversy, hypothesis, geology, Secondary Education, meteoritic impact, tectonics, fold, granite...

## INTRODUCCIÓN

Adquirir una adecuada comprensión sobre la naturaleza de la Ciencia, así como de las interacciones complejas entre ésta y la sociedad, es uno de los objetivos que queda recogido en la propuesta curricular de la LOGSE (Ley de Ordenación General del Sistema Educativo). En ocasiones, los libros de texto presentan mensajes explícitos en los primeros o últimos capítulos sobre la naturaleza de la Ciencia. Otras veces, los profesores ponen énfasis en aspectos concretos del método científico durante el trabajo en el laboratorio y las discusiones en clase. Pero, a lo largo del periodo de instrucción, la mayoría de los alumnos reciben sólo el aura científica: un aura de eficacia absoluta, teñida de inaccesibilidad y de asombro (Giordan, 1982).

La investigación didáctica reciente muestra un notable interés por las cuestiones relativas a las concepciones que, sobre la Ciencia, presentan no

sólo los estudiantes sino también los profesores (Giordan *et al.*, 1988; Gil, 1993; Mellado y Carracedo, 1993; Porlán, 1994 y 1996; Porlán y Martín del Pozo, 1996). Las concepciones de éstos son proyectadas sobre los alumnos, en la mayoría de los casos de manera implícita, siendo uno de los aspectos del pensamiento docente que más influencia tiene sobre la forma en que se trabaja en el aula y, en consecuencia, sobre el aprendizaje de los estudiantes (García Cruz, 1996; Mellado Jiménez, 1996, Fernández González *et al.*, 1997). Esas concepciones han sido construidas durante los años de formación científica del profesor, sin que se haya producido, en la mayoría de los casos, una reflexión desde el punto de vista de la filosofía de la Ciencia y su importancia en la educación (Hodson, 1988). Así, la enseñanza en este ámbito se convierte en una mera sucesión/acumulación de hechos bien establecidos que son asumidos como dogmas por los alumnos (García Cruz, 1996). De

(\*) Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Zaragoza. San Juan Bosco, 7. 50009 Zaragoza. E-mail: [acortes@posta.unizar.es](mailto:acortes@posta.unizar.es), [bpena@posta.unizar.es](mailto:bpena@posta.unizar.es)

este modo, a pesar de su importancia, el trabajo en el aula sobre los métodos y los procesos científicos suele ser un aspecto poco planificado del currículo, formando parte de un plan de estudios de ciencias "oculto", de gran potencialidad (Herron, 1977).

Para asegurar que los estudiantes tengan éxito en el aprendizaje sobre la naturaleza de la Ciencia, el primer paso necesario es convertir lo implícito en explícito. Este aprendizaje debe ser una parte clave del programa de estudios, por lo que la programación debe hacerse conforme a un modelo científico que sea válido filosóficamente, es decir, un modelo que, como mínimo, reconozca la falibilidad y la dependencia teórica de la observación y del experimento, que aportan conciencia de cómo se transmiten los conocimientos dentro de la comunidad científica, que admita que la Ciencia está influida por consideraciones socioeconómicas, culturales, políticas, éticas y morales (Hodson, 1994).

En la actualidad, con el objetivo de que los alumnos adquieran una visión más ajustada de la Ciencia y su construcción, así como de los científicos y su trabajo, existen numerosas propuestas sobre la utilización didáctica de la historia de la Ciencia (Marco, 1992 y 1996; Izquierdo, 1996; Pérez de Eulate, 1996), y concretamente, sobre la historia de la Geología (Anguita, 1982; Hallam, 1985; Gagliardi y Giordan, 1986; García Cruz, 1993, 1996; Pedrinaci, 1992, 1993a y b, 1994; Alvarez Suárez, 1996; Borrego *et al.*, 1996; Frankel, 1996; García, 1997; Sequeiros *et al.*, 1997a y b; Sequeiros y Pedrinaci, 1998). Estos autores señalan que, además de lo expuesto, la historia de la Geología puede ayudar a conocer cómo se han ido construyendo los conceptos y los obstáculos que han encontrado los científicos para integrarlos en la ciencia "oficial". Cuando se analizan las dificultades que encuentran los alumnos para aprender determinados conceptos, se observa que en ocasiones, existe un cierto paralelismo entre dichas dificultades y algunos obstáculos epistemológicos, si bien no se puede realizar una traslación simplista entre ambos campos (Saltiel y Vienot, 1985).

El estudio de casos históricos constituye una buena herramienta para evidenciar la influencia que la estructura sociocultural ejerce sobre la Ciencia para humanizarla y acercarla al alumno (Hodson, 1988). Pero no se trataría tan solo de conocer cuáles han sido los problemas que originaron la construcción del conocimiento científico, cómo llegaron a articularse en cuerpos de doctrina coherentes, cómo evolucionaron, cuáles fueron sus dificultades... sino que es necesario además conocer las interacciones Ciencia/Tecnología/Sociedad asociadas a dicha construcción y tener alguna información sobre los desarrollos científicos recientes y sus perspectivas para poder adquirir una visión dinámica, no cerrada de la Ciencia (Gil *et al.*, 1991).

Las controversias científicas constituyen un excelente ejemplo de cómo se construye la Ciencia, de los titubeos, avances y retrocesos? que tienen

lugar, de que nunca hay un solo descubridor sino contribuciones parciales (Hallam, 1985; Pedrinaci, 1992). Por otra parte resulta interesante comprobar la resistencia de la comunidad científica a aceptar los cambios paradigmáticos (Praia, 1996). De hecho la mayor parte de los trabajos, por los que determinados científicos recibieron el premio Nobel, no consiguieron ser publicados, en primera instancia, en las revistas de mayor prestigio. Cuando dos teorías fueron, en el pasado, motivo de una fuerte controversia hay que señalar cómo los argumentos a favor de una de ellas eran considerados definitivos para los defensores y anecdóticos, marginales o sin fundamento para los detractores. Los libros de texto y los currículos de ciencias de Secundaria presentan con demasiada frecuencia los cambios en el conocimiento científico prestando muy poca atención a la dinámica que los indujo. Así tratan las teorías antiguas como banalidades superadas y después de una breve crítica de estas afirmaciones se nos informa de cuáles son las teorías en las que creemos firmemente en la actualidad (Duschl, 1997). Así, el acto creativo de las nuevas hipótesis, su poder explicativo, los experimentos fallidos, los razonamientos equivocados, las discusiones, la tensión mientras se buscan nuevos argumentos,... todo eso no llega a los alumnos porque saben que al final "ganan los buenos", es decir la teoría "buena". La que finalmente es aceptada por la comunidad científica acaba relegando a la otra, "retrógrada" o "equivocada", como si de un camino preestablecido se tratara. De esta manera, la historia de la Ciencia no pasa de ser anecdótica, repleta de grandes hechos, grandes personajes y grandes descubrimientos (García Cruz, 1996). En la explicación del profesor en el aula se tiende a dar la sensación de que al final siempre hay una conclusión objetivamente verdadera: "antes los científicos creían que..., pero ahora sabemos..."; así, hay una respuesta hecha y la posee el profesor (Giordan, 1984, en Porlán, 1995). También se tiende a considerar que las cuestiones que la Ciencia aún no ha resuelto tienen solución, lo que ocurre es que los científicos aún no las han abordado.

En el caso de una controversia actual, la ventaja es precisamente no conocer cuál es la solución de la misma. No se sabe qué hipótesis serán aceptadas por la comunidad científica y cuáles serán rechazadas, o si surgirán nuevas explicaciones, pero los alumnos pueden apreciar de qué forma se produce el acercamiento e interpretación de la realidad desde cada una de las hipótesis. En este trabajo se realiza una propuesta curricular para la asignatura de Biología y Geología de 1º de Bachillerato sobre una controversia científica actual, y por lo tanto no resuelta, que ayude a los estudiantes a adquirir una visión sobre la naturaleza del conocimiento científico y las actividades de los científicos más ajustada a los enfoques modernos de la filosofía de la Ciencia. La controversia que se plantea a continuación, no hace referencia a una teoría científica, sino que trata de diferentes hipótesis que tienen por objeto dar explicación a una zona con características geológicas peculiares.

## LA CONTROVERSIA

En 1985, Ernstson y colaboradores publican un artículo sobre el origen meteorítico de la Cubeta de Azuara (provincia de Zaragoza). La cubeta había sido considerada hasta entonces como una estructura de origen tectónico. A lo largo de los años sucesivos, dichos autores van realizando una serie de trabajos para aportar datos que apoyen esa nueva idea.

Todas las publicaciones sobre el impacto meteorítico de Azuara son conocidas por la comunidad científica española, que sigue trabajando en la zona manteniendo mayoritariamente que su origen es estructural, sin que se produzca una reacción formal hasta que, en 1993, un grupo de investigadores publican una discusión a un artículo de Ernstson y colaboradores de 1992.

En 1997 surge una nueva hipótesis en contra del origen meteorítico de la estructura circular de Azuara, defendiendo un origen endógeno por emplazamiento de una masa granítica (domo) por debajo de la misma.

### Origen estructural de la cubeta de Azuara

La Cubeta de Azuara se localiza en el borde norte de la Cordillera Ibérica, en una zona próxima a la Depresión del Ebro. La Cordillera Ibérica es una cadena intracratónica situada entre los dos orógenos alpinos principales de la Península Ibérica: los Pirineos, al Norte, y las Cordilleras Béticas, al Sur. Las tres cordilleras se han formado como consecuencia del acercamiento de las placas Ibérica y Africana, por el desplazamiento hacia el Norte de la segunda, lo que originó, en el Terciario, una compresión de orientación aproximada N-S. La existencia de una cobertera sedimentaria mesozoico-terciaria separada del zócalo por un nivel de despegue, ha condicionado la estructuración de la Cordillera Ibérica, permitiendo un comportamiento individualizado del zócalo, con una deformación hercínica previa, y de la cobertera alpina (Alvaro *et al.*, 1979; Capote, 1983).

La estructura general del sector de Azuara corresponde a una cuenca sedimentaria de origen compresivo limitada por pliegues y cabalgamientos formados a lo largo del Terciario (Pérez, 1989; Aurell *et al.*, 1993; Cortés y Casas, 1996). La aplicación de métodos geométricos para la reconstrucción de cortes geológicos permite caracterizar la deformación del zócalo y la cobertera en este sector (Cortés y Casas, 1996). Así se puede precisar que la Cubeta de Azuara constituye un sinclinorio situado entre dos importantes anticlinales (o anticlinorios) de dirección NW-SE (Fig. 1). En el borde SW aparece el anticlinal norte de la Rama Aragonesa (Cortés y Casas, 1996; Casas *et al.*, 1998) en cuyo núcleo afloran materiales paleozoicos. Entre esta importante estructura y la cubeta, existen varios pliegues menores de dirección NW-SE que únicamente afectan a la cobertera mesozoico-terciaria. En el borde NE se sitúa el anticlinal de Belchite, de dirección NW-SE. Las estructuras que definen el borde norte van cambiando de orientación hacia el

Oeste y pasan a tener dirección E-W y NE-SW en el anticlinal de Aguilón (Fig. 2). Este conjunto de pliegues y cabalgamientos, formado por materiales mesozoicos (Jurásico y Cretácico Inferior) y terciarios (Paleógeno), describe una estructura arqueada denominada en algunos trabajos como “Arco de Belchite-Aguilón” (Lendínez y Ruiz, 1989; Lendínez *et al.*, 1989a). Todas estas estructuras son el resultado de un acortamiento regional de dirección aproximada N-S durante el Paleógeno, en el que tuvo una importancia capital la existencia de estructuras previas a la compresión alpina (fallas normales mesozoicas de la cubeta cretácica de Aguilón, según Soria, 1997 y Cortés *et al.*, 1999).

La traza arqueada es un hecho común en muchos sistemas de pliegues y cabalgamientos e indica la existencia de desplazamientos diferenciales de la cobertera en su traslación sobre un nivel de despegue. Otra interpretación desde el punto de vista estructural sería la interferencia de pliegues con orientaciones subperpendiculares, como ocurre en otras zonas de la Cordillera Ibérica (Simón Gómez, 1984).

Durante la estructuración paleógena de la cordillera, la Cubeta de Azuara se comportó como una cuenca sedimentaria que se desplazaba hacia el Norte solidariamente con los cabalgamientos del Arco de Belchite-Aguilón. La cubeta se encuentra rellena por más de 800 m. de materiales terciarios, (Oligoceno Superior-Mioceno Superior), de origen continental, fundamentalmente detríticos (conglomerados, areniscas y lutitas) con algunos niveles de rocas carbonatadas y evaporíticas, cuya evolución sedimentaria corresponde a una serie de abanicos aluviales y sistemas lacustres relacionados (Pérez *et al.* 1991). La sucesión estratigráfica indica que las estructuras de los límites de la cubeta, que han proporcionado los sedimentos a la misma, han sido activos (se estaban levantando los relieves) durante la sedimentación de las unidades terciarias.

Una vez realizada esta lectura y consultada la figura de la cartografía y el corte geológico, los alumnos deben responder a las siguientes preguntas:

- ¿Qué tipos de rocas diferentes se pueden encontrar dentro de la cubeta de Azuara? ¿Y en los bordes de la misma? ¿Cuáles son sus edades?
- ¿Cuáles son las estructuras de deformación que afectan a las rocas? ¿Qué orientaciones presentan?
- ¿Cómo se pueden explicar las estructuras que presentan un disposición en forma de arco?
- ¿En qué consiste la propuesta del origen estructural de la cubeta de Azuara?

### Impacto meteorítico de Azuara

La existencia de evidencias de un impacto meteorítico en la zona de Azuara fue puesta de manifiesto por Ernstson *et al.* (1985). A partir de ese momento, se han realizado numerosos estudios en la zona. 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 y el estado actual de los conocimientos.

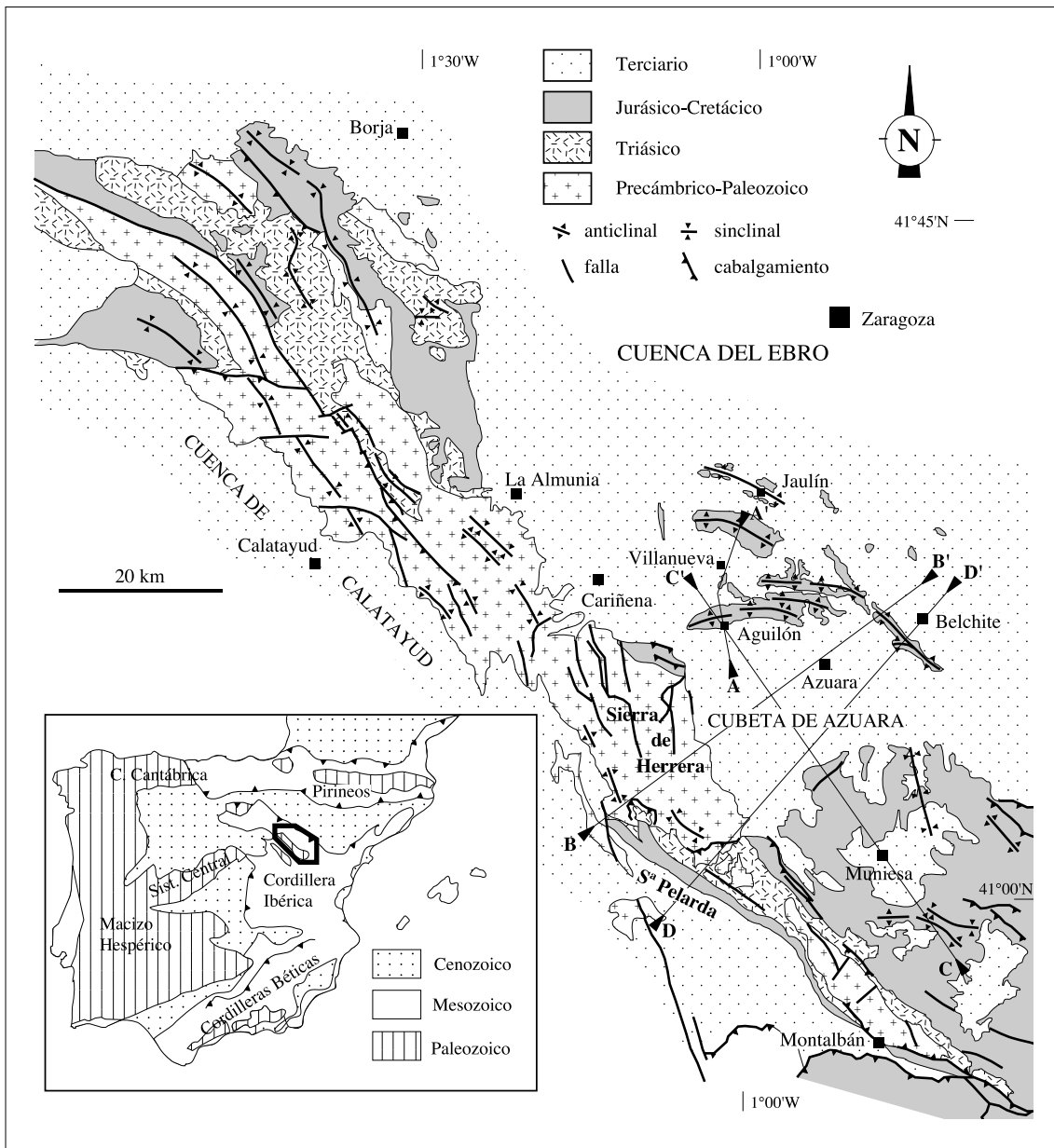


Figura 1. Esquema geológico de la Cubeta de Azuara y de las principales estructuras de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica. Localización de los cortes de las figuras 2 (A-A'), 5 (B-B', C-C') y 6 (D-D').

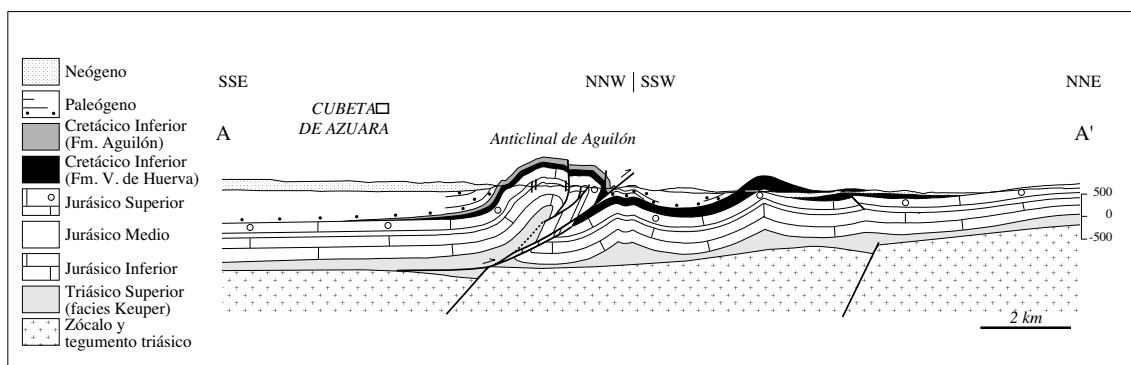


Figura 2. Corte del borde norte de la cubeta de Azuara a través del anticlinal de Aguilón (modificado de Cortés et al., 1999). Corte A-A' en la figura 1.

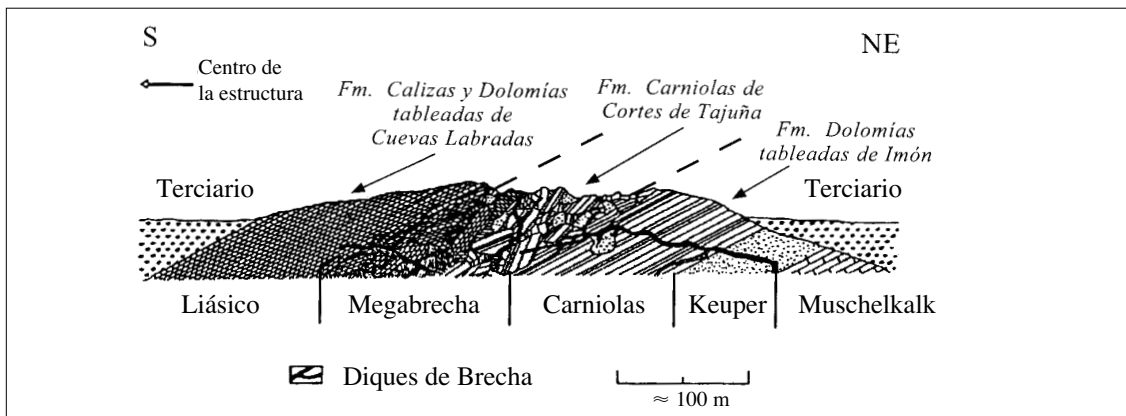


Figura 3. Esquema de la disposición en el campo de las megabrechas (Ernstson, 1987 y Ernstson et al. 1992). En cursiva se han indicado las distintas formaciones que se identifican en el Jurásico de Cordillera Ibérica.

En 1985, Ernstson *et al.* publican su primer artículo sobre el probable origen meteorítico de la estructura de Azuara. En él presentan una estructura de impacto de tipo complejo y grandes dimensiones (30 Km de diámetro). Sin embargo, admiten que la investigación intensiva no es posible debido a la existencia de una cubierta de más de 400 m de sedimentos terciarios.

El primer hecho observado por los autores es la forma aproximadamente circular de la depresión (Fig. 1) y la estratigrafía invertida en sus bordes (es decir, estratos antiguos dipuestos sobre otros de edad más moderna). Entre las deformaciones a escala macroscópica destaca la existencia de varios tipos de brechas que se pueden agrupar en: a) brechas monomíticas, formadas por fragmentos de roca de la misma naturaleza, y b) brechas polimíticas, con fragmentos de diferentes tipos de rocas.

En cuanto a las deformaciones a escala microscópica, aparecen elementos planares en granos de cuarzo (planos de discontinuidad o "fracturas" en la estructura cristalina), así como pequeños pliegues en acordeón (*kink bands*) en biotitas (encontrados ambos en rocas paleozoicas).

La edad de la estructura se sitúa entre el Cretá-

cico Inferior (materiales integrados en los pliegues del borde) y el Mioceno medio (no afectado por la deformación).

Ernstson *et al.* (1987) y Ernstson (1987) presentan los primeros resultados de las investigaciones geofísicas en la zona. Las medidas gravimétricas llevan a elaborar un mapa de anomalías de Bouguer que muestra un fuerte gradiente regional al que se superponen anomalías locales dentro de la estructura, anomalías positivas y negativas con forma anular. La deficiencia de masa estimada bajo la depresión de Azuara es de  $1,24 \cdot 10^{14}$  Kg.

En el segundo trabajo se estudia además el metamorfismo de choque, que presenta diversas limitaciones: a) la parte central de la estructura se encuentra cubierta, b) los efectos de choque sobre rocas carbonatadas son poco conocidos, c) las rocas sedimentarias registran peor los efectos de choque comparados con las rocas cristalinas, y d) no se conservan *ejectas* (fragmentos de roca proyectados como consecuencia del impacto) que hayan experimentado presiones de choque (procedentes de la región central). En el mismo trabajo se presentan también las investigaciones sobre brechas de dique y megabrechas. Estas últimas constituyen, según estos autores, una "peculiaridad tectonofísica" de la

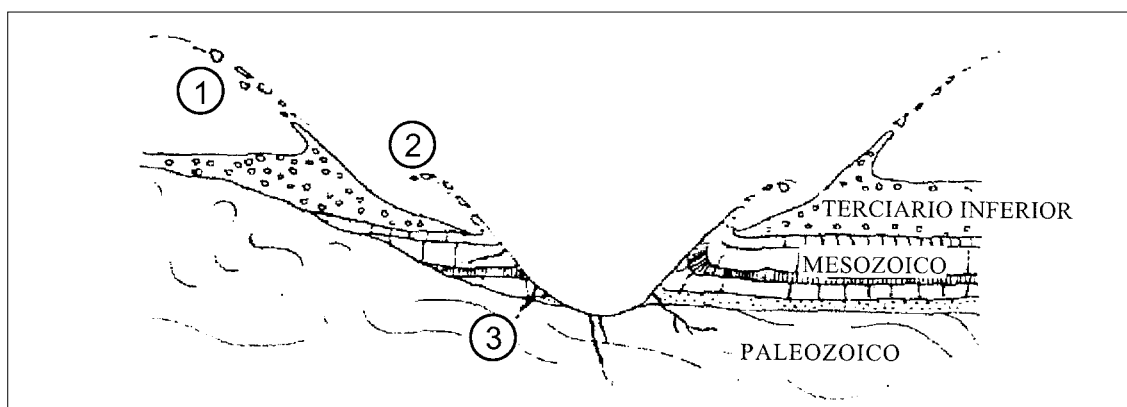


Figura 4. Esquema del desarrollo de un cráter en el estadio de excavación: 1) Ejecta (que formaría, por ejemplo, la Fm. Pelarda), 2) Origen de los megabloques descolocados, 3) Diques de brecha (sin escala). Ernstson et al. (1992).

estructura. Afectan al borde mesozoico en los sectores NE y NW, constituyendo un nivel estratiforme de más de 80 m de potencia compuesto por fragmentos de Lías y carniolas y, ocasionalmente, bloques de materiales eocenos (Fig. 3). Ello hace que la edad de la estructura esté comprendida entre el Eoceno superior y el Mioceno inferior.

Fiebag (1988) estudia las características estructurales del sector de Aladrén y Almonacid de la Cuba. Mediante el estudio de estilolitos determina varias tendencias de la compresión NNE-SSW, N-S, NW-SE y NE-SW. También estudia fotografía aérea e imagen satélite (Landsat) realizando un mapa de lineamientos. En este trabajo se presta especial atención a los diques-brecha diferenciando 7 tipos, dependiendo de su composición (mono o polimíctica), presencia de fracción fundida y posibles señales de metamorfismo de choque.

Müller y Ernstson (1990) estudian sistemas de diaclasas curvas como indicadoras de la fracturación producida por el impacto. El modelo propuesto consiste en la formación cuasi-dinámica debida a la interacción de ondas elásticas localmente reflejadas.

Ernstson y Claudín (1990) presentan la Formación Pelarda<sup>1</sup> (Figs. 1 y 4) como la evidencia de una *ejecta* meteorítica procedente del impacto de Azuara. Esta unidad, situada entre Fonfría y Olalla, está formada por más de 200 m de espesor de conglomerados. La presencia de bloques y cantos deformados y estriados sería consecuencia de los efectos de un choque moderado y representaría el residuo de un primigenio y extenso depósito de *ejectas* procedentes del impacto de Azuara. La aparición de material del substrato local da idea de una craterización secundaria como consecuencia del transporte y la sedimentación balística de los *ejecta* primarios.

Los datos gravimétricos y magnéticos son presentados de nuevo en 1992 por Ernstson y Fiebag. En este trabajo se dedica un extenso apartado a las características estructurales de la zona, añadiendo las complicaciones existentes en la determinación de las evidencias de impacto debido a la tectónica alpina y viceversa. Asimismo, se presentan gran cantidad de tipos y ejemplos de diques-brecha. La edad del impacto se sitúa en el Eoceno superior u Oligoceno.

- ¿Qué efectos produjo el impacto meteorítico en la zona de Azuara?
- ¿Cuántos tipos de brechas se identifican? ¿Por qué es tan importante la caracterización de las brechas dentro de este modelo?
- ¿Cuándo se habría producido el impacto? ¿Cómo se consigue precisar la edad?
- Después de leer estos argumentos, ¿en qué medida se ajustan a los criterios recogidos en el Anexo I?
- Realiza un esquema, a partir de las referencias de las publicaciones, de cuáles han sido los pasos seguidos por Ernstson y sus colaboradores en su investigación.

(1) Los geólogos agrupan los estratos, cuando tienen una extensión representable a escala cartográfica (1:50.000) y constituyen una unidad con un origen común, en unidades denominadas "formaciones". Las formaciones se nombran con el término litológico dominante seguido de la localidad geográfica donde fueron definidas.

## Origen endógeno de la cubeta de Azuara

En 1997, Sánchez Cela propone el origen endógeno de la estructura circular de Azuara frente a un origen por impacto meteorítico. Considera que la estructura se ha formado con un carácter polifásico a través de diversos episodios hercínicos-alpinos. La estructura de Azuara presenta otra estructura menor asociada, el suave domo de Muniesa, localizado al Sur, compuesto fundamentalmente por materiales mesozoicos (Fig. 1). Estos domos circulares están relacionadas con el origen y emplazamiento de los granitos en la corteza superior. Los efectos dinámicos de dicho emplazamiento se reflejan fundamentalmente en el contacto circular, mediante formación de brechas-silíceas, rocas ígneas silíceas-intermedias y en general rocas cuarzo-feldespáticas. Aunque la masa granítica no llega a aflorar, el autor deduce "su cercana presencia por sus 'credenciales', que se manifiestan principalmente en los materiales del Paleozoico de la zona oeste de dicha estructura". Dichas 'credenciales' son microgranitos, riolitas y dacitas, así como rocas híbridas entre facies sedimentarias e ígneas silíceas, presentes en la Sierra de Herrera. Para el autor, todas estas rocas constituyen la expresión superficial de un granito de edad Hercínica que ha sido reactivado en diversas fases Alpinas (Fig. 5).

- Las rocas que se mencionan en la Sierra de Herrera ¿han sido citadas por los autores de las otras hipótesis?. Si la respuesta es afirmativa ¿cómo las interpretan los otros autores frente a este último autor?
- ¿En qué consiste la hipótesis de un origen endógeno de la cubeta de Azuara?
- ¿Cuáles son los argumentos en los que se basa?
- ¿Cuál de las tres hipótesis elegirías tú? ¿Por qué?

## Réplicas y contrarréplicas / Discusión

### Los estructuralistas

Aurell, *et al.* (1993) realizan una réplica a un artículo de Ernstson *et al.* (1992), donde plantean los siguientes argumentos:

La estructura del área de Azuara corresponde a un sistema de pliegues y cabalgamientos alpinos recubiertos discordantemente por depósitos miocenos de la Cuenca del Ebro (Fig. 6).

La brecha basal del impacto meteorítico citada por sus defensores, corresponde a los conglomerados del Mioceno medio que se depositaron en un régimen sedimentario de abanico aluvial. Las brechas globulares, es decir el 'lapilli meteorítico', son consideradas por los sedimentólogos como costras calcáreas (caliches) de los sedimentos terciarios.

Las megabrechas que se localizan en el borde mesozoico en los sectores NE y NW, constituyen un nivel estratiforme del Jurásico Inferior de más de 80 m de potencia y está definida como Formación Cortes de Tajuña (Goy *et al.*, 1976). Los materiales

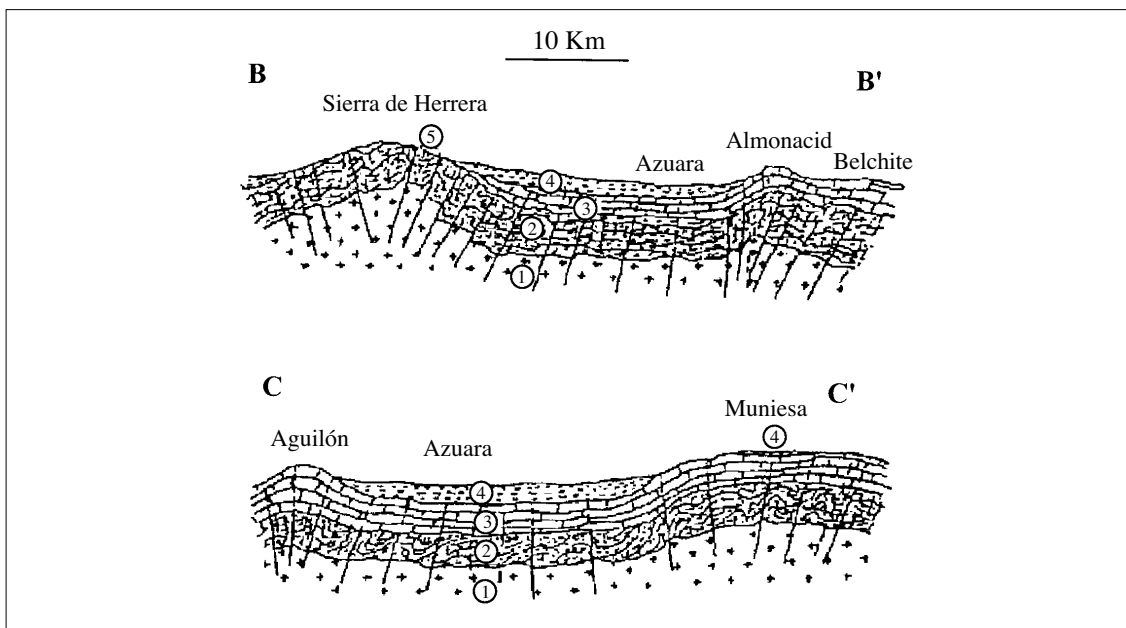


Figura 5. Cortes de la cubeta de Azuara según Sánchez Cela (1997). 1) Basamento granítico (deducido). 2) Paleozoico. 3) Mesozoico. 4) Terciario y Cuaternario. 5) Rocas ígneas filonianas (microgranitos-riolitas). Localización de los cortes en la figura 1 (cortes B-B' y C-C').

del Jurásico de la Cordillera Ibérica son de naturaleza fundamentalmente carbonatada, están agrupados en formaciones fácilmente identificables en cualquier afloramiento y se pueden encontrar en toda la extensión de la cordillera (Fig. 3). Para explicar el origen de las megabrechas se proponen dos modelos (Giner, 1978; San Román y Aurell, 1992): 1) origen sedimentario por erosión de bloques levantados en el margen de cuenca y 2) disolución de capas de evaporitas intercaladas entre los niveles carbonatados. Es decir, se trata de unos materiales cuyo origen se presta a discusión. Pero dado el carácter interestratificado de las brechas, que sus cantos tienen naturaleza exclusivamente calcárea, que la edad de los clastos está restringida al Lías y que están presentes en distintos lugares de la Cordillera Ibérica, en ocasiones muy distantes, hay que descartar la interpretación del origen extraterrestre.

La Formación Pelarda, considerada por Ernstson y colaboradores como la *ejecta* meteorítica, constituye un depósito aislado y continuo formado, según las interpretaciones clásicas por conglomerados fluviales de edad terciaria (Carls y Monninger, 1974), aunque interpretaciones más recientes las incluyen en el Pliocuatrnario (Lendínez *et al.*, 1989b; Pérez, 1989; Ferreiro *et al.*, 1991). Es decir, se conoce la edad de los materiales y el proceso claramente sedimentario que los originó (coladas de barro).

Cortés (1994) señala que todas las estructuras de escala hectométrica a kilométrica presentes en el sector de Azuara responden a una tectónica tangencial con acortamiento en dirección N-S a NNE-SSW y que no todas son explicables mediante una estructura de impacto. El proceso tectónico permite explicar tanto las estructuras de superposición y re-

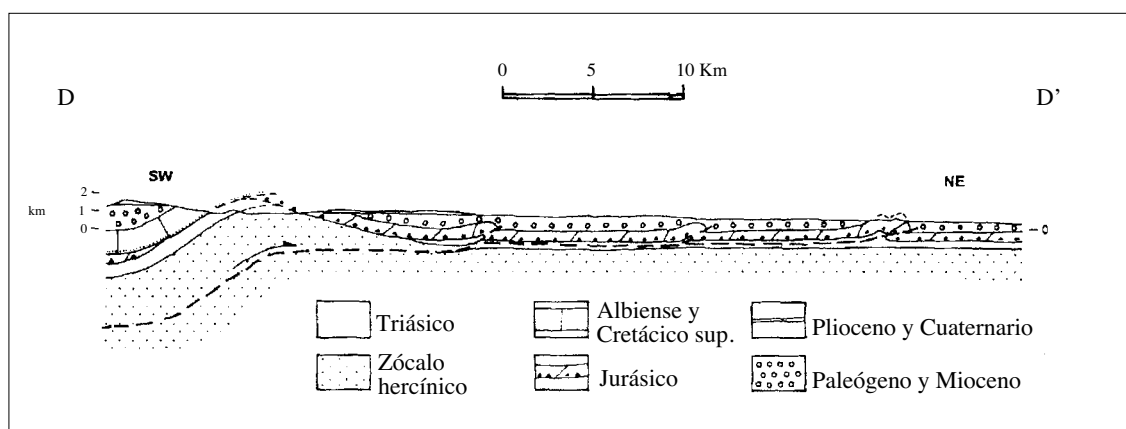


Figura 6. Corte geológico general de la cubeta de Azuara y sus bordes (Aurell *et al.* (1993). Corte D-D' en la figura 1.

activación de pliegues en el zócalo hercínico como el plegamiento y estructuras cabalgantes en la corbera mesozoico-terciaria.

Con respecto a las diaclasas curvas considera que existen varias posibilidades para explicar su formación: a) sistemas de fallas lístricas, b) debidas a procesos sedimentarios y/o diagenéticos, c) formación dinámica bajo un campo de esfuerzos inhomogéneo y d) formación dinámica bajo un campo de esfuerzos variante en el tiempo.

Así mismo indica que, en el caso de la cubeta de Azuara, la única evidencia con la que se cuenta a priori es su supuesta forma circular, relativamente clara en las viejas cartografías geológicas 1:200.000 (IGME, 1971), y en la imagen de satélite, y no tanto en los mapas geológicos más recientes (Ferreiro *et al.*, 1991). El resto de las evidencias (diques clásticos como supuestas estructuras de escape de gases y de brechificación, granos de cuarzo con texturas de fusión encontrados en las formaciones paleozoicas, formaciones brechoides por encima de las facies Keuper formadas como resultado del impacto, la formación de Pelarda identificada como la *ejecta* del meteorito, la vergencia centrífuga de los pliegues y cabalgamientos que bordean la cubeta de Azuara, etc.) han sido cuidadosamente buscadas y utilizadas para la demostración de la existencia de una estructura de impacto.

– ¿Qué nombre dan los geólogos a los conjuntos de rocas que tienen unas características determinadas? ¿Cuáles se mencionan en el texto? ¿Conoces alguna otra?

– ¿Qué interpretación dan estos autores a los distintos tipos de brechas?

– ¿Te parece la estructuralista una explicación adecuada para lo que se puede observar en el mapa? ¿Crees que hay algún aspecto pendiente de explicación, o con una débil justificación?

– ¿De qué forma afectan los argumentos planteados desde esta perspectiva a las ideas sobre el origen extraterrestre de la cubeta? ¿Y sobre las del origen endogenético? ¿Por qué?

### Los meteoríticos

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 confianza existente en las cartografías de detalle realizadas por los investigadores de la Universidad de Würzburg y los datos obtenidos en nuevos estudios petrográficos (mezclas de carbonatos-sílice y cristales de cuarzo diaplético en diques-brecha; familias de caracteres planares, *cleavage* y *kink bands* en granos de cuarzo; biotitas desintegradas térmicamente y calizas decarbonatadas) evidencias de rocas sometidas a grandes presiones (>15 GPa) o altas temperaturas (>1000° K).

Anguita, en declaraciones realizadas a Moreno (1997), señala que el impacto de Azuara está directamente relacionado con los cambios bruscos regis-

trados en nuestro continente hace unos 35 millones de años, sobre los que hay mucho misterio científico todavía. Los paleontólogos franceses denominan a esta época, por sus características, El Gran Corte, porque en ese tiempo desaparecen de forma drástica más del 60% de las especies originarias de Europa y son reemplazadas por otras procedentes del Este de Europa y del continente asiático. Así mismo insiste en que la ausencia de un modelo sobre cráteres de impacto es la razón por la que los estructuralistas no aceptan la hipótesis del meteorito.

– ¿Te parece que los datos aportados son suficientes para justificar la hipótesis del impacto meteorítico? ¿Por qué?

– ¿De qué forma afectan los argumentos planteados desde esta perspectiva a las ideas sobre el origen estructuralista de la cubeta? ¿Y a las del origen endogenético? ¿Por qué?

– ¿Qué opinas sobre el argumento de la escasa preparación de los geólogos españoles? ¿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 cartografías de detalle realizadas por investigadores de las Universidades de Zaragoza y Barcelona?

– Busca información sobre los organismos que se extinguieron hace 35 millones de años. ¿Existe algún otro caso de extinciones producidas por un impacto meteorítico? Coméntalo.

– ¿De qué manera encajan las hipótesis meteoríticas dentro del Principio del Actualismo? ¿Significaría volver a las ideas Catastrofistas? Coméntalo.

### Los endogenistas

Sánchez Cela (1997) rebate los argumentos de Ernstson y colaboradores para considerar la existencia de un impacto meteorítico:

No se han encontrado fragmentos metálicos exóticos, y su existencia bajo los sedimentos pliocuaternarios es especulativa.

No están presentes ni los rasgos de metamorfismo de choque ni los minerales polimórficos que indicarían condiciones de alta presión y temperatura. Solamente cuarzos más o menos deformados con posibles “estructuras planares” están presentes en rocas cuarcíticas brechoides del Paleozoico y en los cantos Pliocuaternarios heredados de aquellas.

La presencia de anomalías gravimétricas dentro de la estructura de Azuara, que parece indicar materiales de baja densidad, puede ser producido por diversas causas. Así la fragmentación de los materiales de un supuesto impacto podría producir una disminución de la densidad de los mismos y producir anomalías gravimétricas, pero en la zona de Azuara no están presentes tales rocas fragmentarias. También se pueden explicar por la falta de compensación isostática de las masas graníticas durante su emplazamiento en los niveles superficiales de la corteza. De este modo a unos 3 ó 5 Km de profundidad por debajo de la estructura de Azuara se encontraría un domo granítico no aflorante.



Con respecto a las brechas carbonatadas que supuestamente se habrían formado como consecuencia del impacto, los datos geológicos indican claramente la existencia de unas brechas asociadas a un nivel estratigráfico concreto, Lías (Jurásico). Estas rocas, además, se pueden encontrar en toda la Cordillera Ibérica y no presentan rasgos de condiciones de alta presión-temperatura, ni estructuras vítreas producidas por fusión parcial.

- ¿De qué forma afectan los argumentos planteados desde esta perspectiva a las ideas sobre el origen extraterrestre de la cubeta? ¿Y a las del origen estructuralista? ¿Por qué?
- ¿Puedes señalar argumentos comunes a dos hipótesis diferentes, tanto a favor como en contra?
- ¿Puedes identificar datos que se interpretan de

forma diferente en función de las ideas que defienden cada uno de los diferentes grupos de autores?  
- Señala las principales diferencias entre las tres hipótesis.

### *La controversia en la prensa*

La noticia de que en el pasado pudo haberse producido un impacto meteorítico en los alrededores de Azuara llega a la prensa diaria en febrero de 1997. En esa fecha, un científico norteamericano especialista en cráteres de impacto visita Azuara, invitado por investigadores españoles favorables a las ideas de Ernstson. Dos días más tarde la prensa informa que geólogos de la Universidad de Zaragoza niegan la validez de la propuesta sobre el origen extraterrestre de la cubeta de Azuara.

#### **HERALDO DE ARAGON, 25 de febrero de 1997, S. Cabello AZUARA, EN EL CENTRO DEL CRATER Un asteroide “aplastó” a los dinosaurios**

Varios geólogos, entre los que se encontraba el prestigioso científico norteamericano Michael Rampino, visitaron los alrededores de Azuara este fin de semana buscando indicios del impacto de un asteroide hace 35 millones de años.

Científicos del mundo estudian el cráter más importante de Europa occidental hecho por un asteroide.

El alemán Ernstson, que conoce como la palma de su mano las diferentes zonas de cráter de Azuara, hizo las veces de guía. No en vano, lleva visitando asiduamente la zona desde 1983 cuando la descubrió. Este geofísico quiso dejar que su colega americano buscara los indicios por sí mismo. Así, se limitó a llevarlo por distintas zonas donde el estadounidense buscó pruebas y analizó cada trozo de roca.

...los científicos estudiaron unas rocas en las que quedaron grabadas venas de disolución de materiales por las que escaparían los gases atrapados en las rocas... Los científicos encontraron interesantes pruebas como lo que denominaron megabrechas (formaciones de rocas fragmentadas a causa del impacto)... Rampino buscó denodadamente las marcas más características de este tipo de cráteres, los conos de impacto... El profesor Anguita, cuyo departamento invitó a venir al profesor Rampino, explica “resulta difícil reconocer algo que nunca se ha visto”. No obstante, es posible mediante procesos geofísicos hacer una proyección en el ordenador de lo que fue el cráter. Los científicos realizan una labor de investigación piedra por piedra en busca de indicios, para la que es imprescindible la experiencia y la comparación con otros cráteres. La experiencia de Rampino resultará determinante a la hora de reconocer el de Azuara como cráter de impacto.

Pregunta a M. Rampino.- Cree que nos encontramos ante un cráter de impacto. Respuesta.- Por lo que he leído en los trabajos de Kord Ernstson y otros colegas y lo que he visto hoy aquí, me atrevería a decir que el de Azuara sí es un cráter producido por el impacto de un asteroide. P.- ¿Qué diría a quienes dicen que el de Azuara no es un cráter de impacto? R.- Me parece que la única forma de resolver las cosas y de buscar rasgos característicos de los cráteres de impacto es trabajar sobre el terreno. Sólo así se podrá dar un diagnóstico fiable.

#### **EL PERIÓDICO DE ARAGÓN, 2 de marzo de 1997. R. Miranda AZUARA, EL CRÁTER IMAGINARIO**

**Los geólogos de la Universidad de Zaragoza desmontan la tesis del meteorito extraterrestre defendida por un científico de la NASA.**

Afirmaciones de los geólogos de la U.Z.:

-La supuesta estructura circular o cráter de Azuara no existe.

-El arco de Aguilón-Belchite u otras estructuras que rodean la cuenca terciaria de Azuara son absolutamente coherentes con el estilo estructural de la Cordillera Ibérica..... no se formaron simultáneamente (como cabría esperar de un impacto meteorítico), sino en episodios sucesivos.

-Ernstson llegó a Azuara en 1985 a corroborar la hipótesis sin haberse molestado en leer la literatura científica sobre los estudios realizados en esta zona a lo largo de todo el siglo y encontró todo lo que buscaba: el impacto.

-Si fuera un meteorito habría una estructura radial, centrífuga, pero se ve que hay aportes de materiales siempre en la misma dirección, de la Ibérica hacia el norte.

-Aquí interviene en gran medida la financiación de la investigación. Si empiezas diciendo que no hay meteorito, no dan dinero.

-Es más difícil demostrar que no ha caído que demostrar que cayó.

#### **Revista TIEMPO, 6 de Octubre de 1997. S. Moreno EL TREMENDO IMPACTO QUE CAMBIO LA VIDA EN EUROPA Azuara (Zaragoza): Huellas del choque de un asteroide**

Una bola de fuego de procedencia extraterrestre, de unos dos kilómetros de diámetro y a una velocidad de entre 20 y 40 Km. por segundo, chocó contra la Tierra en una zona cercana a lo que es hoy la ciudad de Zaragoza, 50 km. al sur de la capital aragonesa, teniendo como punto central del impacto el actual pueblo de Azuara. La explosión, equivalente a la potencia de 50 bombas atómicas como la que fue arrojada en Hiroshima, abrió un enorme cráter de 35 kilómetros de diámetro y de gran profundidad. Los efectos de la onda expansiva fueron demoledores: la devastación generalizada que sembró el extraordinario impacto se extendió a más de mil kilómetros y pudo ser la causante de la desaparición de la mayor parte de la fauna europea de la época hace unos 35 millones de años.

La cicatriz de la tremenda colisión de Azuara, causada por algún asteroide o cometa,... fue la pista que siguió el geólogo alemán Kord Ernstson en la Universidad de Würzburg (Alemania) cuando la descubrió en 1985. Este científico y sus colaboradores fueron los que identificaron las primeras huellas del impacto extraterrestre: estratos de roca doblados y triturados por la onda expansiva, granos minerales que mostraban señales de haberse fundido a altísimas presiones como las que sólo pueden alcanzarse en choques con cuerpos extraterrestres, así como depósitos de rocas fragmentarias expulsadas del cráter similares a los hallados en otros cráteres de impacto en el planeta (unos 150, según reconocimiento de los geólogos).

Rampino está convencido de que el impacto de Azuara está directamente relacionado con los cambios bruscos registrados en nuestro continente hace unos 35 millones de años, sobre los que hay mucho misterio científico todavía.

Aunque Marc Aurell, profesor de Estratigrafía de la Universidad de Zaragoza, mantiene una hipótesis distinta: no hubo impacto de meteorito, el supuesto cráter de Azuara no existe y la brecha de impacto se habría producido por una cuenca de sedimentación a lo largo de millones de años.

Francisco Anguita contesta la hipótesis negativa: Después del primer día de campo en Azuara, Rampino dijo que estaba seguro al 100 por 100 de que se trataba de un cráter de impacto... La gente que dice no al cráter de Azuara no ha visto nunca un cráter de impacto. Rampino ha investigado siete u ocho cráteres de impacto y tiene, como mínimo, el *ojo clínico*, que dicen los médicos, y sabe encajar el rompecabezas de las piezas halladas de acuerdo con los modelos.

Los restos del asteroide se volatilizaron, pero si tuviéramos dinero para hacer sondeos, encontraríamos fundidos del impacto los restos mineralógicos como los que se han encontrado en Arizona.

**EL PAIS, 1997. A. Rivera**

### **UN ASTEROIDE DE DOS KILÓMETROS HIZO EL CRÁTER DE ZARAGOZA HACE 35 MILLONES DE AÑOS**

**Michael Rampino, Geólogo de la Universidad de Nueva York**

Michael Rampino ha venido a España a reconocer el cráter de Azuara, en Zaragoza, producido por un bólido hace 35 millones de años.

Francisco Anguita (Univ. Complutense) examinando unas muestras de roca: "Sólo un meteorito puede producir estas marcas". "Esta procede de Belize, de las proximidades del cráter de Yucatán del impacto que hace 65 millones de años que provocó la extinción de los dinosaurios; la piedra salió disparada por el choque. Esta otra es de Azuara y tiene las mismas señales de impacto".

P. ¿Cómo sería el cráter de Azuara?.

R. El cráter tiene 30 kilómetros de diámetro, fue descubierto hace unos años por Kord Ernstson. Calculamos que el cuerpo que produjo mediría unos dos kilómetros de diámetro. La onda de la explosión tendría un alcance de mil kilómetros a la redonda y destruiría todo; en ese radio la temperatura sería suficientemente alta, centenares de grados, como para quemar todo. Fue hace 35 millones de años. El cráter de Yucatán tiene 200 kilómetros de diámetro y el cuerpo que impactó mediría unos 10 kilómetros.

P. ¿Por qué hay reticencia entre los geólogos para admitir el papel de los impactos en la historia de la Tierra?.

R. Hay una larga tradición en geología favorable a la idea del cambio gradual, idea que se originó en la respuesta a los conceptos del siglo XVIII de catástrofes bíblicas, sobrenaturales. La reacción de la geología como ciencia fue defender el cambio gradual. Ahora vemos que el cambio geológico puede ser lento normalmente pero con acontecimientos de cambio muy rápido.

Después de haber leído todos los textos y las noticias de la prensa, responde a las siguientes preguntas:

- ¿Cuál de las explicaciones te parece más sencilla? ¿Por qué?
- ¿Los argumentos que se plantean desde las distintas hipótesis, son comparables? Justifícalo.
- ¿Es posible tomar partido aceptando una de ellas y rechazando la otra? ¿Por qué?
- ¿De qué manera crees que los científicos se irán convenciendo mayoritariamente de una de las hipótesis?
- ¿Qué hipótesis elegirías tú? ¿En qué te basas?
- ¿Cómo explicas el hecho de que hayan sido necesarios 8 años para que se produjera una discusión, si los artículos científicos eran conocidos desde el momento de su publicación?.
- Fíjate en los titulares de las noticias de la prensa, los textos, ¿te parece objetivo el tratamiento que se le da a la noticia?, ¿por qué?. Comenta todos los aspectos que te llamen la atención.
- ¿Cómo se podrían contrastar las hipótesis?

### **SUGERENCIAS DIDACTICAS**

A continuación se plantean distintas sugerencias sobre cómo trabajar el tema con los alumnos:

A) Exponer las tres hipótesis con todos sus argumentos. Después de cada hipótesis se realizan preguntas para comprobar la comprensión de los textos y de los conceptos implicados, comparar las hipótesis y cómo se podrían contrastar. Por último se les pide si tomarían partido o no por alguna de las ideas planteadas y que lo justifiquen.

B) Se puede proponer a modo de problema: Se presentan tres proyectos de investigación ante las entidades encargadas de la financiación de la investigación ¿qué proyecto se podría subvencionar para que los científicos siguieran trabajando de acuerdo con sus hipótesis? Se pueden definir personajes con diferentes intereses que defenderían distintas posturas (por ejemplo la Unión Europea considera que hay que fomentar la cooperación entre investigadores de diferentes países y le parece que el trabajo desde la hipótesis de Ernstson lo fomenta o, al contrario, que una hipótesis más conservadora como la estructuralista favorecería el conseguir socios de distintos países; la D.G.A. quiere potenciar el turismo de la zona y considera que, de confirmarse la hipótesis del meteorito, se podría realizar un parque temático sobre el mismo; cada uno de los equipos científicos defiende su propia hipótesis...).

C) Plantear la opción estructuralista y se sigue con el tratamiento que da la prensa a la hipótesis meteorítica, realizando preguntas relativas a dichas informaciones.

D) Se podrían proponer las tres teorías seleccionando textos de los artículos originales de la controversia, los de las réplicas y contrarréplicas.

E) Trabajar únicamente con los artículos periódicos. En este caso sólo se trataría la hipótesis del impacto meteorítico y la estructuralista.

Los textos escritos en letra pequeña recogen algunos argumentos que requieren conocimientos que, en ocasiones, no se trabajan en Bachillerato. Sin embargo, se exponen para que el profesor disponga de una visión completa de los distintos planteamientos. En distintos pasajes del trabajo se hace referencia a las edades de los materiales o los acontecimientos, para facilitar su lectura se ha incluido un cuadro de edades (Fig. 7).

Las cuestiones propuestas al final de cada una de las hipótesis y de las diferentes réplicas tienen distintos objetivos. Las planteadas en primer lugar pretenden facilitar información al profesor sobre si los alumnos han comprendido las ideas expuestas en los textos. Cuando se les pide que realicen un esquema a partir de las publicaciones lo que se persigue es que los alumnos se den cuenta de que los objetivos de los trabajos científicos van encaminados a obtener pruebas que sirvan para apoyar sus hipótesis. Además, los alumnos deben llegar a comprender que los científicos en sus publicaciones de investigación (lo mismo que ocurre en los libros de texto) escriben para convencer a los lectores de que acepten sus conclusiones (Hodson 1988), más que para informar sobre sus propios interrogantes, su

acción creativa en la formulación de hipótesis, su divagar en la investigación siguiendo pistas improductivas o las preguntas que a pesar del trabajo han quedado sin respuesta.

También se les propone que elijan la hipótesis con la que están más de acuerdo y que justifiquen el porqué. Con ello se busca generar un debate entre los alumnos para discutir cuáles han de ser los criterios que ayuden a decidir qué hipótesis es la válida. Si se consideran las hipótesis como afirmaciones contingentes (pueden ser verdaderas o falsas) y como conclusión de un argumento, el argumento podría ser analizado de dos formas: 1) Examinando la veracidad de todas las premisas, las cuales deben ser ciertas, o 2) Examinando la coherencia interna del conjunto de premisas verdaderas, en la cual no puede haber contradicción (Giere, 1984, en Duschl, 1997). También se pueden plantear los criterios que propone este último autor para juzgar teorías: Lógicos (la teoría debe ser una idea unificadora y sencilla que no proponga nada innecesario -Navaja de Occam-), empíricos (la teoría debe ser empíricamente verificable o llevar a predicciones o conclusiones ya establecidas que sean verificables, sociológicos (la teoría debe resolver problemas reconocidos como tales, paradojas o anomalías irresolubles según las teorías científicas existentes o los tres) e históricos (la teoría debe satisfacer o superar todos los criterios establecidos por sus predecesoras o demostrar que los criterios abandonados son artefactos, una teoría que ignore el pasado es siempre sospechosa). Pero las teorías opuestas no sólo son incompatibles sino que son igualmente inmensurables, exigiéndose una “traducción” de los lenguajes usados so pena de no poder ser comparados, atendiendo a los referentes en que se sitúan (Marqués, 1996). Con todo ello, los alumnos deberían captar que establecer unos criterios generales no es sencillo, ni para ellos, ni para los científicos, y por eso, la elección se realiza fundamentalmente por afinidades personales con las ideas planteadas.

En relación con el párrafo anterior, se sugieren diversas cuestiones sobre la forma en que los diferentes argumentos a favor de una hipótesis afectan a las otras, o si los argumentos que se plantean desde las distintas hipótesis son comparables. De cualquier modo, hay que insistir a los alumnos en que la objetividad está asegurada, no porque los diferentes autores que han realizado los trabajos sean absolutamente neutrales, sin preferencias personales ni expectativas teóricas preexistentes, sino porque las hipótesis están abiertas a la comprobación experimental y están disponibles para la crítica por parte de la comunidad científica (Hodson, 1988).

También se les pregunta si se pueden identificar datos que se interpreten de manera diferente en función de las ideas que defienden cada uno de los autores. Con respecto a esta cuestión habría que trabajar con los alumnos que la observación no es fiable y depende de la teoría y a menudo la teoría, aunque no siempre, precede a las observaciones. La observación no proporciona acceso automático a un conocimiento factual seguro, se ha de interpretar a la

<b>CENOZOICO</b>	CUATERNARIO		1,6 ma
	NEÓGENO	<i>Plioceno</i>	
		<i>Mioceno</i>	
	PALEÓGENO	<i>Oligoceno</i>	23 ma
		<i>Eoceno</i>	36 ma
<i>Paleoceno</i>		53 ma	
<b>MESOZOICO</b>	CRETÁCICO	<i>Superior</i>	65 ma
		<i>Inferior</i>	
	JURÁSICO	<i>Superior (Malm)</i>	135 ma
		<i>Medio (Dogger)</i>	
		<i>Inferior (Lías)</i>	
	TRIÁSICO	<i>Superior</i>	205 ma
		<i>Medio</i>	
		<i>Inferior</i>	
<b>PALEOZOICO</b>			250 ma

Figura 7. Esquema de los tiempos geológicos

luz de las creencias teóricas. Las teorías rivales pueden dar lugar a observaciones diferentes cuando se confronta el mismo fenómeno (Hodson, 1988).

En una de las cuestiones finales se pide a los alumnos que busquen información sobre los organismos que se extinguieron hace 35 millones de años y si conocen algún otro caso de extinciones producidas por un impacto meteorítico. Se pretende que lo relacionen con la hipótesis, no admitida de un modo generalizado por los científicos, de la extinción de los dinosaurios al final del Cretácico por el gran impacto meteorítico del Yucatán. El debate sobre si la extinción masiva que se produjo hace 65 millones de años fue causada por el impacto de un asteroide se ha convertido en el tema estrella de la historia de la Tierra en la última década. Ello es debido a la moda de los dinosaurios que se extinguieron entonces, además de muchos otros organismos, y también por que el mecanismo propuesto ha captado la imaginación popular a través de unos medios de comunicación de masas que hacen usualmente un titular de cada catástrofe (del mismo modo, el posible impacto meteorítico de Azuara es noticia para la prensa, pero si la hipótesis aceptada es otra, deja de tener interés). Este planteamiento enlazaría con la geología neocatastrofista: extinciones en masa (Sequeiros, 1990); grandes impactos meteoríticos (Alvarez, 1980); grandes cambios eustáticos o grandes inundaciones, eventos (Vera, 1990), volcanes, efecto invernadero... Por otra parte, si consideramos el estudio de los impactos meteoríticos sobre la Tierra, junto con la geología de los planetas, Anguita, (1988) sugiere que el Sistema Solar, y los otros muchos que pudieran existir, forman el marco adecuado para entender, más allá de la Tectónica de Placas, el fenómeno planetario. De esta manera, la Tectónica de Placas se podría contemplar en un plano mucho más general, y definirse como un régimen térmico que no todos los cuerpos planetarios tienen que atravesar.

La investigación de cráteres de impacto es relativamente nueva. Grieve (1990) señala como D. M. Barringer, un ingeniero y empresario norteamericano, avanzó en 1905, arriesgando su reputación, que cierta depresión del terreno, en el estado de Arizona, era el resultado del impacto de un gran meteorito férrico. Hoy se denomina a esa depresión cráter de Barringer, en su honor, y también cráter Meteor. A partir de entonces se empiezan a estudiar posibles impactos meteoríticos y en 1960 muchos investigadores norteamericanos habían estudiado la geología de los cráteres con suficiente detalle como para reconocer las pruebas de los impactos: el metamorfismo de impacto (Fig. 8).

En 1970 se habían descubierto ya más de 50 cráteres de ese tipo. Los geofísicos adscritos a las misiones Apolo determinaron la velocidad de formación de cráteres en la Luna. Dicha craterización guarda estrecha relación con la de la Tierra porque ambas se habrán visto sometidas al mismo flujo de asteroides y cometas a lo largo de su historia. Pero la Luna guarda un mejor registro de los cráteres ya que no está sometida a la erosión de los agentes de meteorización, ni a la acción de los agentes internos.

En 1990 se han descubierto más de 120 cráteres de impacto y su número crece cada año (en 1997 ya hay 150). Se han hallado más cráteres en los cratones de América del Norte, Europa y Australia que en los de América del Sur, o África. El motivo es obvio: los programas nacionales de investigación de cráteres de impacto están más subvencionados en unos continentes que en otros.

Las pruebas lunares y terrestres abonan la presunción de que se produzca de uno a tres cráteres de más de 20 kilómetros cada millón de años. En Investigación y Ciencia (Grieve, 1990) representa sobre un mapa la localización de los principales cráteres de impacto sobre tierra firme. Aunque no se hace una mención explícita, sitúa un punto coincidiendo con Zaragoza (Azuara), indicando que la edad del impacto tendría menos de 200 millones de años de edad. Teniendo en cuenta que se trata de una traducción de la revista de divulgación científica americana Scientific American, habría que reflexionar, enlazando con la discusión sobre la aceptación social de las teorías, sobre la importancia de la difusión científica de los trabajos. Es decir, las ideas sobre la estructura de la Cordillera Ibérica, aunque estén publicadas en revistas internacionales, no son objeto de divulgación científica en una revista de difusión mundial, probablemente por que se trata de una pequeña cordillera, con características propias, pero que interesan fundamentalmente a los geólogos de la región. Sin embargo, la existencia de cráteres de impacto, debido a su relativa escasez, es objeto de estudio y de divulgación independientemente de su tamaño y de su localización geográfica.

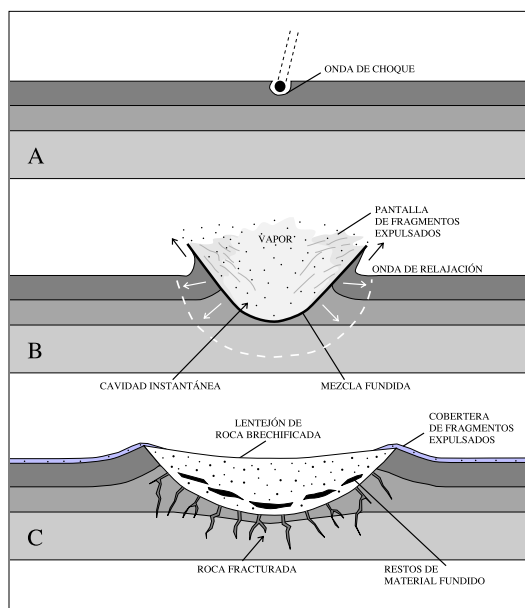


Figura 8. Formación de un cráter simple (Grieve, 1990). Un meteorito de unos cientos de metros colisiona con la Tierra: (A). El impacto produce una onda de choque y una onda de relajación en el sustrato rocoso: (B). Las ondas comprimen, funden, volatilizan y excavan las rocas. Las paredes de la cavidad colapsan hacia dentro dejando un lentejón de roca brechificada: (C).

Los alumnos deben comprender además, el carácter social de la Ciencia y que las nuevas ideas deben ser reconocidas y aprobadas por la comunidad científica. En todo ello influyen las ambiciones personales y las presiones sociales. En este caso concreto, las presiones sociales estarían materializadas en los proyectos de investigación (subvenciones económicas que reciben los científicos para realizar los trabajos) que permiten que las distintas investigaciones se lleven a cabo, pero que exigen también unos resultados. En relación con este punto una cuestión que no está planteada expresamente, pero sobre la que también deben reflexionar los estudiantes es: ¿Hasta qué punto un científico debe dedicar su tiempo a programas de resultados inciertos y de repercusiones prácticas discutibles? (Anguita, 1993).

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez Suárez, R. M. (1996). Las controversias científicas. Sus implicaciones didácticas y su utilidad mediante un ejemplo: la controversia sobre la edad de la Tierra. *Alambique*, 8, 63-68.
- Alvarez, L.W.; Alvarez, W.; Assaro, F. Y Michel, H.V. (1980). Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, 208, 1095-1110.
- Alvaro, M.; Capote, R. y Vegas, R. (1979). Un modelo de evolución geotectónica para la Cadena Ibérica. *Acta Geológica Hispánica*, 14, 172-177.
- Anguita Virella, F. (1982). Una comparación entre Charles Darwin y Alfred Wegener, sus actitudes científicas y la aceptación de sus teorías. En: R. Pidal coord. *Actas II Simposio Nacional sobre la Enseñanza de la Geología*. Gijón, 274-285.
- Anguita Virella, F. (1988). *Origen e historia de la Tierra*. Ed. Rueda, Madrid, 525 pp.
- Anguita Virella, F. (1993). *Geología planetaria*. Ed. Mare Nostrium. Colección Arjé, 2, 132 pp.
- Aurell, M.; González, A.; Pérez, A.; Guimerá, J.; Casas, A. y Salas, R. (1993). Discussion of 'The Azuara impact structure (Spain): New insights from geophysical and geological investigations' by K. Ernstson and J. Fiebag. *Geologische Rundschau*, 82, 750-755.
- Borrego, M.J., García, R., Guede, B., Menéndez, E. y Pacheco, F. (1996). La utilización de la historia de la Ciencia para trabajar problemas relacionados con los fósiles. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4.1, pp. 46-52.
- Capote, R. (1983). La tectónica de la Cordillera Ibérica. In J.A. Comba (ed.): *Geología de España. Libro Jubilar de J.M. Ríos*. Comisión Nacional de Geología-I.G.M.E., 2, 108-120.
- Carls, P. y Monninger, W. (1974). Ein Block-Konglomerat im Tertiär der östlichen Iberischen Ketten (Spanien). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 145: 1-16.
- Casas, A.M.; Cortés, A.L.; Gapais, D.; Nalpas, T. y Román, T. (1998). Modelización analógica de estructuras asociadas a compresión oblicua y transpresión. Ejemplos del NE peninsular. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 11 (3-4): 331-344.
- Cortés Gracia, A. L. (1994). *Geometría y cinemática de las estructuras alpinas en el sector de Cariñena-Belchite (Borde norte de la Cordillera Ibérica)*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Zaragoza, 171 pp.
- Cortés Gracia, A. L. y Casas Sainz, A.M. (1996). Deformación alpina de zócalo y cobrtera en el borde norte de la Cordillera Ibérica. (Cubeta de Azuara- Sierra de Herrera). *Rev. Soc. Geol. España*, 9 (1-2), 51-65.
- Cortés, A.L.; Liesa, C.L.; Soria, A.R. y Meléndez, A. (1999): Role of extensional structures on the location of folds and thrusts during tectonic inversion (Northern Iberian Chain, Spain). *Geodinamica Acta*, 12 (2): 113-132.
- Duschl, R. A. (1997). *Renovar la Enseñanza de las Ciencias*. Narcea S.A. Ed., 149 pp.
- Ernstson, K.; Hammann, W.; Fiebag, J. y Graup, G. (1985). Evidence of an impact origin for the Azuara structure (Spain). *Earth and Planetary Science Letters*, 74, 361-170.
- Ernstson, K. (1987a): Azuara - Giant probable impact structure in Spain. *International Workshop on Cryptoexplosions and Catastrophes in the Geological Record*. Parys (South Africa): 30 pp.
- Ernstson, K.; Feld, H.; Hunoltstein, D. von; Waasmaier, E. y Tiedemann, H.P. (1987b): Probable impact origin for the Azuara structure (Spain) - results from gravity and earth's magnetic field measurements. *Jahrestag. Dtsch. Geophys. Ges. Clausthal-Zellerfeld*: 2 pp.
- Ernstson, K. y Claudín, F. (1990). Pelarda Formation (Eastern Iberian Chains, NE Spain): Ejecta of the Azuara impact structure. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 10, 581-599.
- Ernstson, K. y Fiebag, J. (1992). The Azuara impact structure (Spain): new insights from geophysical and geological investigations. *Geologische Rundschau*, 81/2, 403-427.
- Ernstson, K. y Fiebag, J. (1993). Reply to discussion of "The Azuara impact structure (Spain): new insights from geophysical and geological investigations". *Geologische Rundschau*, 82, 756-759.
- Fernández González, J.; Elortegui Escartín, N.; Fernando Rodríguez, J.; Moreno Jiménez, T. (1997). ¿Qué idea se tiene de la Ciencia desde los modelos didácticos?. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 12, 87-99.
- Ferreiro, E.; Ruiz, V.; López de Alda, F.; Valverde, M.; Lendínez, A.; Lago, M.; Meléndez, A.; Pardo, G.; Ardevol, L.; Villena, J.; Pérez, A.; González, A.; Hernández, A.; Alvaro, M.; Leal, M.C.; Aguilar, M.; Gómez, J.J. y Carls, P. (1991). *Memoria explicativa y mapa de la hoja 40 (Daroca) del Mapa Geológico de España a escala 1:200.000*. I.T.G.E., 239 pp.
- Fiebag, J. (1988). Zur Geologie der Azuara-Struktur - Kartierung im Gebiet zwischen Herrera de los Navarros und Aladrén und süd-östlich von Almonacid de la Cuba sowie spezielle Untersuchungen der Breccien und Breccien-Gänge vor dem Hintergrund einer Impaktgenese der Azuara-Struktur. - Doctoral Thesis, Univ. Würzburg, 271 pp.
- Frankel H. (1996). De la deriva de los continentes a la tectónica de placas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 3.3, pp. 130-136. Traducido del original: Frankel, H. (1988). From continental drift to plate tectonics. *Nature* 335, 127-130.
- Gagliardi, R. y Giordan, A. (1986). La historia de las Ciencias: una herramienta para la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 4, 253-258
- García Cruz, C. M. (1993). La Edad de la Tierra: Una introducción a la Geología desde la Historia de la Ciencia. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1.2, 109-112.
- García Cruz, C. M. (1996). La Historia de la Geología como hilo conductor de una unidad didáctica: Tectónica de Placas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4.1, 59-66.
- García, C. M. (1997). Benoît de Maillet y el transformismo geológico del S. XVIII. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 5.1, 6-10.
- Gil, D.; Carrascosa, J.; Furió, C. Y Martínez-Torregrosa, J. (1991). *La enseñanza de las Ciencias en la Educación Secundaria*. ICE-Horsori. Univ. de Barcelona.
- Gil Pérez, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las Ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 197-212.
- Giordan, A. (1982). *La enseñanza de las Ciencias*. Siglo XXI, 222 pp.
- Giordan, A.; Raichvarg, D.; Drouin, J.-M.; Gagliardi, R. y Canay, A. M. (1988). *Conceptos de Biología*. I. M.E.C./Labor.
- Goy, A.; Gómez, J.J. y Yébenes, A. (1976). El Jurásico de la rama castellana de la Cordillera Ibérica (mitad norte). I. Unidades litoestratigráficas. *Estudios Geológicos*, 32, 391-423.
- Grieve, R.A.F. (1990). Formación de cráteres de impacto sobre la Tierra. *Investigación y Ciencia*, Junio, 58-66.
- Hallam, A. (1985). *Grandes Controversias Geológicas. Neptunistas, vulcanistas y plutonistas. Catastrofistas y uniformitaristas. La era glacial. La edad de la Tierra. La deriva de los continentes*. Ed. Labor Universitaria- MEC, Barcelona, 180 pp.
- Herron, M.D. (1977). Implicit curriculum-where values are really taught. *The Science Teacher*, 44, 30-31.
- Hodson, D. (1988). Filosofía de la Ciencia y educación científica. In Porlan, García y Cañal (eds.): *Constructivismo y enseñanza de las Ciencias*. Ed. Diada (Sevilla).
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 299-313.
- IGME (1971): *Mapa de la hoja 40 (Daroca) del Mapa Geológico de España a escala 1:200.000. Síntesis de la cartografía existente*.
- Izquierdo, M. (1996). Relación entre la historia y la filosofía de la Ciencia y la enseñanza de las Ciencias. *Alambique*, 8, 7-21
- Lendínez, A. y Ruiz, V. (1989): *Mapa y memoria explicativa de la hoja 440 (Belchite) del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000*. I.T.G.E., Madrid: 42 pp.

- Lendínez, A.; Ruiz, V. y Carls, P. (1989a): *Mapa y memoria explicativa de la hoja 439 (Azuara) del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000*. I.T.G.E., Madrid: 42 pp.
- Lendínez, A.; Ruiz, V. y Carls, P. (1989b): *Mapa y memoria explicativa de la hoja 466 (Moyuela) del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000*. I.T.G.E., Madrid: 116 pp.
- López Llamas, C. (1998). La investigación planetaria en las aulas de secundaria. *documento del X Simposio sobre la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, Palma de Mallorca, 101-108.
- Marco Stifel, B. (1992). *Historia de la Ciencia: los científicos y sus descubrimientos*. Materiales para la ESO. MEC-Narcea Madrid.
- Marco, B. (1996). Aproximación didáctica a textos científicos originales. *Alambique*, 8, 53-62.
- Marqués, L. (1996). Construcción del conocimiento científico. Algunos ejemplos de Geociencias. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (4.1), 4-12.
- Mellado Jiménez, V. (1996). Concepciones y prácticas de aula de profesores de Ciencias, en formación inicial de Primaria y Secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (3), 289-302.
- Mellado, V. y Carracedo, D. (1993). Contribuciones de la filosofía de la Ciencia a la didáctica de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (3), 331-339.
- Moreno, S. (1997). El tremendo impacto que cambió la vida en Europa. *Tiempo*. 6 Octubre, 52-54.
- Müller, H. y Ernstson, K. (1990). Curved joint sets: Indication of impact-induced fracturing. In: Rossmannith (ed.): *Mechanics of Jointed and Faulted Rock*, 257-263.
- Pedrinaci Rodríguez, E. (1992). Catastrofismo versus actualismo. Implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), 216-222.
- Pedrinaci Rodríguez, E. (1993a). Utilidad didáctica de la Historia de la Geología. In Aldaba, J. et al.: *Aspectos Didácticos de Ciencias Naturales (Geología) 5*. Colección Aula Abierta, 105. Instituto de Ciencias de la Educación. Universidad de Zaragoza, 111-145.
- Pedrinaci Rodríguez, E., (1993b). Concepciones acerca del origen de las rocas: una perspectiva histórica. *Investigación en la Escuela*, nº 19, 89-103.
- Pedrinaci, E., (1994). Epistemología, historia de las ciencias y abejas. *Investigación en la Escuela*, nº 23., 95-102.
- Pérez, A. (1989): *Estratigrafía y sedimentología del Terciario del borde meridional de la Depresión del Ebro (sector riojano-aragonés) y cubetas de Muniés y Montalbán*. Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 525 pp.
- Pérez, A.; Muñoz, A.; González, A.; Pardo, G. y Villena, J. (1991). Interpretación tectosedimentaria de la Depresión Terciaria de Azuara. Margen ibérico de la Cuenca del Ebro. Provincia de Zaragoza. *I Congreso del Grupo Español del Terciario. Comunicaciones*, 252-255.
- Pérez de Eulate, L. (1996). La historia de la Ciencia como hilo conductor de una unidad didáctica. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 8, 71-79.
- Porlán Ariza, R. (1994). Las concepciones epistemológicas de los profesores: el caso de los estudiantes de Magisterio. *Investigación en la escuela*, 22, 67-84.
- Porlán, Ariza, R. (1995). Las creencias pedagógicas y científicas de los profesores. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 3(1), 7-13.
- Porlán Ariza, R. y Martín del Pozo, R. (1996). Ciencia, profesores y enseñanza: unas relaciones complejas. *Alambique*, 8, 23-32.
- Praia, J. F. (1996). Epistemología e historia de la Ciencia: contribuciones a la planificación didáctica. La deriva continental. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (4.1), 30-37.
- Saltiel, E. y Vienot, L. (1985). ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 3, 137-144.
- San Román, J. y Aurell, M. (1992). Palaeogeographical significance of the Triassic-Jurassic unconformity in the north Iberian basin (Sierra del Moncayo, Spain). *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 99, 101-117.
- Sánchez Cela, V. (1997). La estructura circular de Azuara (Zaragoza). Origen endógeno versus impacto. *Boletín Geológico y Minero*, 108-2, 121-128.
- Sequeiros, L. (1990). Paleontología, Catástrofes y Extinciones en Masa. *Razón y Fe*, 1095, 54-62.
- Sequeiros, L.; Pedrinaci, E.; Alvarez, R. Mª y Valdivia, J. (1997a). James Hutton y su Teoría de la Tierra (1795): Consideraciones didácticas para Educación Secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (5.1), 11-20.
- Sequeiros, L.; Pedrinaci, E.; Berjillos, P. y García, E. (1997b). El bicentenario de Charles Lyell (1797-1875). Consideraciones didácticas para Educación Secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (5.1), 21-31.
- Sequeiros, L.; Pedrinaci, E. (1998). Història de la Geologia i ensenyança de la Geologia: Sugerències per a l'ús didàctic de la Història de la coneixença geològica de l'illa de Mallorca de Bartomeu Darder. *Quaderns d'Història de la Ciència Geològica*..
- Simón- Gómez, J.L. (1984). Estructuras de superposición de plegamientos en el borde NE de la Cadena Ibérica. *Acta Geológica Hispánica*, XV (5), 137-140.
- Soria, A.R. (1997): *La sedimentación en las cuencas marginales del surco ibérico durante el Cretácico Inferior y su control tectónico*. Tesis Doctoral. Univ. Zaragoza. Serv. Publ. Univ. de Zaragoza, 363 p.
- Vera, J. A. (1990). *Estratigrafía y Geología de Eventos*. Discurso de ingreso a la Real Academia de Ciencias de Granada, 36 pp.
- <http://bang.lanl.gov/solarsys/eng/tercrate.htm>

## ANEXO I

### Criterios para el reconocimiento de un impacto meteorítico sobre la Tierra (por orden de importancia).

-Presencia de material meteorítico. En general, los meteoritos ferrosos resisten más tiempo a la alteración por los agentes atmosféricos que los pétreos.

-Abundancia relativa “no terrestre” de elementos siderófilos (níquel, iridio, platino, etc.). Una de las evidencias que apoyan la hipótesis de un gran impacto meteorítico en el límite Cretácico/Terciario hace unos 65 millones de años, responsable de la desaparición de los dinosaurios entre otros grupos biológicos, es la presencia en distintos puntos del planeta de una capa de iridio intercalada entre los sedimentos de esa edad.

-Indicios de metamorfismo de impacto o de choque (*shock metamorphism*). Algunos de estos efectos son debidos inequívocamente a un impacto meteorítico, sin que ningún otro proceso terrestre sea capaz de producir los valores de presión y temperatura necesarios para causarlos. Entre estos hay que incluir los conos de impacto (*shatter cones*), elementos planares (*planar features*) microscópicos en granos de cuarzo y feldespato, vidrios diapléticos y fases minerales de alta presión como coesita-estishovita.

-Existencia de un cráter (simple o complejo) de forma circular limitado por un anillo elevado topográficamente en relación a la superficie que lo rodea. Este anillo puede presentar pliegues y fracturas relacionadas con las fuerzas centrifugas creadas por el impacto. El cráter más famoso es el de Barringer (Arizona), con una depresión de 1200 m de diámetro, 180 m de profundidad y un anillo elevado unos 40 m por encima del suelo circundante.

-Presencia de rocas fragmentadas en el cráter o en los bordes del mismo. Suelen aparecer como niveles de brechas o zonas brechificadas (diques) formadas por fragmentos de las rocas afectadas por el impacto.

-Aparición de mezclas de impacto, relacionadas con la fusión parcial de minerales, que son especialmente importantes en rocas cristalinas.

-En ocasiones, se puede conservar parte del material desalojado del cráter durante el impacto (ejecuta), que debe corresponder a fragmentos heterométricos de la roca afectada.

-Existencia de remagnetizaciones en los minerales del área de impacto debidas al aumento instantáneo de temperatura relacionado con el choque. Si durante el impacto se supera la temperatura de Curie de ciertos minerales, se producirá una reorientación de los elementos magnéticos de acuerdo con el campo magnético contemporáneo al impacto.

## ANEXO II

### Glosario de términos

- *cabalgamientos*: fallas inversas con el plano de falla próximo a la horizontal, lo que permite la superposición del bloque levantado sobre el hundido.

- *carniolas*: son un tipo de rocas de aspecto brechoide y oqueroso formadas por alteración de rocas calizas al encontrarse en contacto con yesos.

- *cleavage*: aptitud de un mineral o una roca para dividirse según planos paralelos

- *vidrio diaplético*: transformación que sufren algunos minerales (cuarzo, feldspatos) al ser sometidos a grandes presiones. Se mantiene la forma y composición del mineral original pero se destruye el orden interno y la estructura atómica.

- *diaclasas*: fracturas que afectan a las rocas, sin que haya desplazamiento relativo de los dos bloques en que queda dividida la roca.

- *estilolitos*: son planos de discontinuidad, con una superficie de picos que se forman en rocas calizas por disolución de las mismas, al ser sometidas a una presión.

- *fallas*: fracturas que afectan a las rocas, habiendo desplazamiento relativo de los dos bloques en que queda dividida la roca.

- *fallas lístricas*: fallas con el plano de fractura curvo. ■