

GEOLOGÍA PLANETARIA Y GEOLOGÍA REGIONAL: EL DEBATE SOBRE UN IMPACTO MÚLTIPLE EN ARAGÓN

Planetary and regional geology: The debate on a multiple impact on Aragón

Ferran Claudin (*) y Kord Ernstson (**)

RESUMEN

Junto con el vulcanismo, la craterización es el proceso geológico más común en el Sistema Solar, y el que mejor sirve para poner en contexto la geología terrestre con la de otros cuerpos. Se resumen los datos que apoyan la existencia de varias estructuras de impacto en Aragón, la polémica científica que los ha rodeado, y cómo, con la ayuda de las nuevas tecnologías, el análisis de estructuras de impacto puede constituir una unidad didáctica válida y motivadora para diversos cursos de Secundaria y Bachillerato con contenido geológico.

ABSTRACT

Volcanism and impacts are the two most common geological processes in the Solar System. The study of impact cratering is the most useful way to connect Earth and extraterrestrial Geology. Here we sum up the data which support a multiple impact at an Aragón area; the debate over this idea; and how new technologies can bring the excitement of the impact scientists' work to the Secondary schools classrooms.

Palabras clave: *Geología Planetaria, Cráteres de impacto, Geología de Aragón, Azuara.*

Keywords: *Planetary Geology, Impact craters, Aragón geology, Azuara.*

INTRODUCCION

Cuenta la leyenda que Gene Shoemaker, solitario en su campamento de prospector de uranio en la meseta del Colorado, supo al instante que, la noche del 4 de Octubre de 1957, una nueva era había comenzado. Las emisoras de radio norteamericanas repetían enloquecidas el “bip-bip” de Sputnik 1, que un país atemorizado identificaba como un peligro nacional. Shoemaker vio más lejos. Comprendió que la conquista del espacio tenía, además del componente militar, una vertiente científica que llevaría a la investigación del Sistema Solar. Y aunque era bien poco lo que se sabía en aquellos años sobre nuestro vecindario, no se ignoraba que estaba formado por cuerpos rocosos. El prospector solitario adivinó por ello que los geólogos llevarían la voz cantante en la exploración. El objetivo más evidente era la Luna, y Shoemaker soñó con ser el primer geólogo que pusiese el pie en nuestro satélite. Así que lió su petate, se despidió de su empresa y se dedicó a estudiar todo lo que se había escrito hasta ese momento sobre el Sistema Solar. Cuando, al año siguiente, se fundó la NASA, Shoemaker ya estaba allí esperándola.

Formó un equipo de cartógrafos lunares y se ofreció como astronauta, pero su riñón, con una malformación congénita, le jugó una mala pasada. Insistió para que se admitiese a Harrison Schmitt, uno de sus discípulos, y es bastante seguro que se emocionó al verle partir, en el último tren (el Apolo 17) hacia la Luna en 1972. La herramienta de trabajo más usual de Eugene Shoemaker, el fundador de la Geología Planetaria, era un martillo de geólogo y no una bola de cristal. Tenía, sin embargo, una ventaja sustancial sobre casi todos sus compañeros de profesión: había estudiado el cráter Meteor, en Arizona (Shoemaker, 1977), lo que significa que había necesitado apoyarse en el espacio para entender la Tierra: Carl Sagan lo llamó La Conexión Cósmica. Shoemaker fue uno de los primeros especialistas en impactos, un camino que luego han seguido muchos otros. Aunque la gran conexión entre la Tierra y las Ciencias Planetarias es la Planetología comparada, el nexo material que nos une con el espacio lo constituyen los cráteres de impacto.

Traer de nuevo al único cráter (o conjunto de cráteres) de impacto de nuestro país a las páginas de Enseñanza de las Ciencias de la Tierra no ha sido una decisión sencilla. Azuara ya ha visitado estas páginas en tres ocasiones entre 1999 y 2001

(*) IES Giola. 08450 Llinars del Vallès, Barcelona, España. fclaudin@pie.xtec.es

(**) Fakultät für Geowissenschaften der Universität Würzburg, Pleicherwall 1, D-97070 Würzburg, Germany. www.impact-structures.com

(Cortés y Martínez, 1999; Anguita *et al.*, 2000; Cortés y Martínez, 2001). ¿No estarán nuestros suscriptores hartos de tanta polémica? ¿Van a repetirse los mismos argumentos? Nuestra apuesta por este tema tiene dos bases que creemos sólidas. La principal es precisamente el carácter de este número monográfico. Hablar de Geología del Sistema Solar sin mencionar la geología terrestre repite la división que Shoemaker trató de superar: no podemos entender totalmente la geología de la Tierra sin mirar hacia el espacio. E incluso en este tema se aprecia reincidencia, ya que también el número 3.2 estaba, como éste, dedicado a los planetas.

La cascada de novedades producida desde 1995 por la exploración continuada del espacio próximo justifica sobradamente la publicación de otro monográfico sobre el Sistema Solar. Igual sucede, creemos, con el tema de este artículo, lo que constituye el segundo motivo para retomarlo: en los últimos años se han seguido produciendo acontecimientos en la zona de Azuara. Por una parte, esta estructura ha sido dada de baja en la lista que publica la *Earth Impact Database* (ver <http://www.unb.ca/passc/ImpactDatabase/index.html>), un inventario oficioso de los cráteres de impacto. ¿No bastaría esta decisión para dar por cerrada la polémica? Nos atrevemos a decir que no, porque al mismo tiempo los datos, de campo y laboratorio, siguen acumulándose. Algunos de ellos son tan espectaculares (por ejemplo, la megabrecha de la Figura 3) que no pueden por menos de despertar interrogantes. ¿Qué clase de proceso geológico puede explicar un afloramiento así?

Queda, por último, el factor didáctico de un debate científico vivo. Esto fue ya argumentado por Cortés y Martínez en su artículo inicial de 1999, y no hace falta insistir ahora sobre ello. De lo que no estamos seguros es de que, dentro de la evolución más bien mortecina de la Geología en la Secundaria, muchos profesores tengan tiempo o ganas, o datos fiables, para llevar a su aula un debate real. Si algún profesor los tuviese (por ejemplo, los turolenses, siempre tan combativos en defensa de su geología), no hay discusión que esté a la altura de la que sigue. Es difícil saber cómo terminará la historia de Azuara y las otras estructuras que la acompañan; pero quizá alguna vez formen parte importante de la Geología de este país, como ahora el cráter de Ries forma parte esencial de la geología de Alemania, el de Sudbury de la de Canadá, y el de Vredefort de la de Suráfrica. Todos ellos fueron discutidos durante décadas (y las discusiones sobre Azuara son juegos de niños en comparación con aquellas guerras, ver p.ej. French [1990] y Reimold [2001]), antes de ser admitidos por todos como cicatrices de cuerpos llegados del espacio.

El artículo se compone de dos apartados y un anexo: en el primero de aquéllos se sintetizan los principales puntos argumentados por impactistas y no impactistas sobre la estructura de Azuara y zonas limítrofes; en el segundo se presentan ideas para uso de estos datos, integrados dentro de un conjunto de actividades propuestas como una reflexión de aula apoyada en datos de la red; y en el anexo se presentan los nuevos datos sobre la cadena de cráteres de impacto¹. En cuanto a las fuentes informativas, somos conscientes que no siempre es fácil, por diferentes circunstancias, tener acceso a las revistas y publicaciones en las que los diferentes protagonistas del debate han ido perfilando e ilustrando sus ideas. Por ello, en la medida de lo posible, hemos adjuntado las direcciones de internet donde hallarlas.

LOS DEBATES SOBRE AZUARA

En torno a la estructura de Azuara y zonas limítrofes se han venido produciendo desde la década de los 90 una serie de debates más o menos intensos entre partidarios de la génesis por impacto y detractores de la misma. A lo largo de estos debates, y también gracias a ellos, los investigadores implicados han ido matizando y ampliando sus argumentos.

Como datos aportados para sustentar una génesis por impacto para Azuara y la cadena de cráteres de impacto (Ernstson y Fiebag, 1992; Ernstson *et al.*, 2002; Ernstson *et al.*, 2003; Ernstson, 2004; ver también anexo y <http://www.estructuras-de-impacto.impact-structures.com/spain/rubielos.htm>), pueden citarse:

- La forma circular de las estructuras de Azuara y Torrecilla, y (parcialmente; ver anexo y Figs 1 y 2) Rubielos de la Cérída.
- La presencia de diques de brecha, cuyos componentes exhiben rasgos de metamorfismo de choque (PDFs² y vidrio diaplético³, entre otros; ver anexo), ubicados en las zonas de los bordes de cráter y a lo largo de la cuenca elíptica de la Figura 4.
- Existencia de megabrechas⁴ y de brechas monomícticas de movimiento⁵ en todas las estructuras descritas (ver anexo y Figs. 3 y 4)
- La observación de una brecha suevítica⁶ basal, depositada sincrónicamente en la base de las rocas post-impacto del Terciario superior a lo largo de Azuara, Rubielos de la Cérída y de toda la cuenca elongada (ver Fig. 7 y anexo).
- Presencia de megabloques dislocados.

(1) Nuevos en ECT, puesto que lo esencial ya se ha publicado en revistas especializadas.

(2) Rasgos de deformación planar.

(3) Vidrio que se produce por la transformación al estado sólido, debido al paso de intensas ondas de choque, y a temperaturas relativamente bajas del cuarzo y del feldespato en fases amorfas. Denota presiones entre 150 y 400 kbar.

(4) Brechas de gran extensión y con grandes clastos.

(5) Roca brechificada hasta los tamaños de arena y limo, pero en la que los fragmentos siguen siendo coherentes.

(6) Brechas polimícticas (=polilitológicas) con fragmentos fundidos o con rasgos de choque, unos y otros incluidos en una matriz clástica.

- La localización y caracterización de depósitos de eyección en las zonas de la Formación Pelarda y Puerto Minguez (ver anexo, Fig. 4 y <http://www.estructuras-de-impacto.impact-structures.com/spain>).
- Identificación de rasgos de metamorfismo de impacto, correspondientes a efectos de choque entre intensos a moderados (PDFs (Fig. 6), vidrio de fundido, vidrio diaplético, PFs⁷, intensas bandas de kink⁸ en el cuarzo y en micas, así como múltiples conjuntos de micromaclas en calcita). Estos rasgos estarían presentes en los componentes de los materiales y depósitos citados (ver anexo).
- Hallazgo de fundidos de impacto (Fig. 5) y de vidrio natural en la cuenca elongada de Rubielos de la Cérda.
- En el caso de Azuara, identificación de anomalías gravimétricas compatibles con una estructura de impacto.
- Existencia de un levantamiento central en la estructura de Rubielos de la Cérda, así como su prolongación hacia el SSE (ver anexo y Fig. 2).

La génesis por impacto de las estructuras de Azuara y Rubielos de la Cérda ha sido fuertemente cuestionada (Aurell *et al.*, 1993; Cortés y Martínez, 1999; Cortés y Martínez, 2001; Cortés *et al.*, 2002; Díaz-Martínez *et al.*, 2002). En síntesis, los argumentos de estos autores son:

- La tectónica de la zona es incompatible con un impacto.
- La estructura de Azuara no presenta una morfología circular.
- En su centro pueden observarse materiales antiguos (en concreto, devónicos) sin deformaciones observables (Smit, comunicación personal).
- La llamada brecha suevítica basal, al menos en la zona de Cucalón, es un depósito lacustre.
- La megabrecha cercana a Belchite es en realidad una brecha de colapso.
- Los diques de brechas se formaron en procesos cársticos.
- Los fundidos de impacto corresponden a materiales volcánicos del Mioceno Inferior.
- Los conos astillados no son tales sino estructuras tectónicas.
- La Formación Pelarda es un depósito de tipo raña, de edad cuaternaria, y sus cantos no presentan rasgos de impacto.
- Los depósitos de Puerto Minguez (Fig. 8) son

de edad miocena y fueron generados por tectónica sinsedimentaria.

Sugerimos al lector interesado la consulta de las siguientes direcciones de la red, en las que podrá encontrar todos los argumentos, tanto a favor como en contra del origen por impacto de estas estructuras:

- <http://www.estructuras-de-impacto.impact-structures.com/spain/controversy>

- <http://tierra.rediris.es/publipapers/azuarameteor.pdf>

- <http://tierra.rediris.es/publipapers/sedimrecord.pdf>

En su artículo de 2002 (ver <http://tierra.rediris.es/publipapers/azuarameteor.pdf>) Cortés *et al.* pedían la eliminación de la estructura de Azuara de la base oficial de datos sobre estructuras de impacto (<http://www.unb.ca/passc/ImpactDatabase/index.html>). Tal petición fue atendida al año siguiente. Con motivo de la publicación de nuevos datos (Ernstson *et al.*, 2002 y 2003) se solicitó a uno de los encargados del mantenimiento de dicha base – el Dr. John Spray, Director del Planetary and Space Science Centre de la Universidad de New Brunswick (Canada)- una aclaración de esta decisión en la que se presentasen explicaciones alternativas convincentes de cada una de las observaciones argumentadas a favor del impacto. Tal argumentación se prometió a uno de los autores del presente artículo en Octubre de 2003, pero aún no se ha producido*.

Un precedente decisivo de esta polémica está contenido en un artículo de los especialistas alemanes en metamorfismo de impacto Langenhorst y Deutsch (1995), quienes analizaron en un microscopio electrónico de transmisión (TEM) una de las tres muestras proporcionadas por uno de los autores (K. E.). A pesar de que éste advirtió sobre la probable inexistencia de PDFs en aquellas muestras, y de que la que fue analizada no provenía de la zona de Azuara, los autores citados concluyeron que no había efectos de metamorfismo de choque en la estructura de Azuara. La historia completa de este problema puede leerse en <http://www.estructuras-de-impacto.impact-structures.com/spain/controversy/review.html>

LA UTILIZACIÓN DIDÁCTICA DE UN TEMA DE FRONTERA: DEL AULA A LA WEB

1. Introducción

¿Puede la controversia sobre la zona de Azuara y zonas limítrofes utilizarse en el aula? Nuestra respuesta, al igual que ya se dijo (Anguita *et al.*, 2000) en una ocasión anterior, es un sí matizado. A continuación proponemos una serie de actividades relacionadas con la craterización por impacto, para el

(7) Fracturas planares; conjuntos de fracturas paralelas de espaciado superior a los 10 ?m.

(8) Zonas de pliegues centimétricos a milimétricos y charnela muy aguda.

(*) Nota añadida en pruebas: En una carta enviada a uno de los autores por el Dr. Spray con fecha 14 de Junio de 2004, éste dice: "I think you make convincing grounds for us giving this serious consideration for reinstatement" (Creo que sienta usted una base sólida para que consideremos seriamente la reintroducción [de Azuara en la base de datos de cráteres de impacto]).

primer y segundo curso de Bachillerato, y para algún crédito variable de ampliación de Geología ubicado en el 4º curso de la Educación Secundaria Obligatoria (en adelante ESO). Estas actividades cubrirían aspectos de los objetivos terminales del currículum de las asignaturas de CTMA, Biología-Geología y de la Geología (Optativa tipificada) de bachillerato, así como algunos de los del segundo ciclo de la ESO⁹. Todas ellas se han experimentado en el IES Giola, lugar de trabajo de uno de los autores (F. C.).

En la confección de las actividades se tuvo en cuenta:

- a- que la mayoría de alumnos tenían un escasísimo dominio de cuestiones geológicas, y especialmente de las relacionadas con impactos meteoríticos (un aspecto geológico muy específico y fuera del temario “normal”).
- b- que estuviesen relacionadas con el currículo del curso o cursos propuestos.
- c- que su realización no exigiese un gran número de horas de clase.
- d- que habrían de permitir un desarrollo flexible en el que pudiesen intervenir profesor y alumnos.
- e- que los profesores del centro no estaban familiarizados ni con el proceso de craterización por impacto, ni por supuesto con su terminología.
- f- que las actividades seleccionadas debían proporcionar al alumno no sólo conocimientos conceptuales sino también habilidades (procedimientos) con las cuales afrontar nuevas situaciones, así como dotarle de “actitudes científicas” (valoración positiva del método científico [huyendo de las creencias], respeto por las ideas de los demás sabiendo defender las propias...etc).
- g- que había que potenciar las denominadas “nuevas tecnologías” (internet, pizarra digital [cañón de proyección informático], presentaciones elaboradas con programas informáticos....etc) en las actividades escolares.
- h- que lograsen el máximo de interdisciplinariedad posible.
- i- que la mayor parte de los contenidos conceptuales pudieran ser extraídos de internet, facilitando de este modo el acceso a la información.

Hemos evitado el situar al alumno, como Cortés y Martínez (1999) propusieron, frente a la disyuntiva de tener que valorar qué hipótesis explica mejor los datos (suministrados previamente) de la zona de Azuara-Rubielos de la Cérda. Creemos que para ello se deben poseer unos buenos fundamentos de Geología, tanto básica como regional y específica,

que permitan un análisis lo más riguroso y ecuaníme posible. No evitamos, en cambio, la utilización de estos datos para ejemplificar lo que es el debate científico y cómo avanza la ciencia en ocasiones.

Todas las actividades están pensadas para utilizar las Tecnologías de la Información y Comunicación (en adelante TIC; también llamadas nuevas tecnologías), esto es el uso del ordenador, de internet, de programas que permitan realizar presentaciones de datos y trabajar con ellos, de la pantalla digital.... El porqué de esta decisión radica en el hecho que las TIC:

- a- Utilizan un lenguaje audiovisual que motiva al alumno.
- b- Permiten eXplorar, eXpresar e intercambiar [eXchange] (las 3X's) la información.
- c- Permiten un proceso de aprendizaje más individualizado y flexible.
- d- Permiten evaluar procesos y no sólo contenidos.
- e- Permiten el aprendizaje a distancia.
- f- Permiten comprender que además de saber (aprehender conocimientos), es importante saber buscarlos y utilizarlos cuando se necesitan.
- g- Permiten lograr objetivos más ligados a la creatividad y a la imaginación que los basados en la simple transmisión.

Su utilización implica, en la mayor parte de los casos, que el papel del profesor pase a ser el de un tutor. A este respecto cabe recordar un factor bien conocido por todos: existe una sobreinformación en internet. Paradójicamente, este exceso de información provoca una falta de conocimiento (que se sientan atraídos por los ordenadores no implica necesariamente que aprendan algo importante para ellos [el problema de la *divernética*]). Es por tanto necesaria la labor de filtro, ejercida en este caso por la figura del tutor, que indique donde conseguir una información básica y de calidad sobre cada tema, a partir de la cual el alumno puede seguir indagando si así lo quiere. Sugerimos, pues, para la realización de cada actividad una búsqueda previa, mediante navegadores, de material en internet, ya que las webs desaparecen, se renuevan y transforman..., aunque paralelamente suministramos algunas direcciones (ver apartado 2) de interés que están en funcionamiento en la actualidad.

Para el tratamiento informático de las imágenes de planetas y satélites, remitimos a los lectores a los artículos de Tortajada (1977) y Morcillo (2002). Por último, hay que recordar que cada actividad está pensada para su realización individual dentro de una unidad didáctica. Esto significa que no es necesario realizarlas todas a la vez, pudiéndose, eso sí, realizarse combinaciones cuando el tiempo y el diseño de la unidad lo permitan.

(9) El currículum de todas estas materias en la Comunidad Autónoma de Catalunya se puede consultar a través de la dirección <http://www.macs.udl.es/ctma/>

2. Descripción de las actividades, metodología y recursos para su realización

Durante estos últimos cinco años, en el IES Giola se han experimentado las siguientes actividades relacionadas con la craterización:

- Como identificar cráteres de impacto
- ¿Cómo avanza la ciencia?
- El riesgo por impacto

En todas ellas, la polémica sobre Azuara y la cadena de impacto se ha utilizado como un referente con el que comparar los conocimientos adquiridos a lo largo de cada práctica. Toda la información necesaria sobre este tema, tanto los argumentos a favor como en contra, puede encontrarse en las direcciones:

- <http://www.estructuras-de-impacto.impact-structures.com/spain/controversy/newpubli.htm>
- <http://tierra.rediris.es/publipapers/azuarameteor.pdf>
- <http://tierra.rediris.es/publipapers/sedimrecord.pdf>

A. Como identificar cráteres de impacto

En esta actividad se pretende que el alumno/a:

- 1- Conozca los principales criterios utilizados en la identificación de cráteres de impacto.
- 2- Aprenda las diferentes escalas de trabajo en Geología.
- 3- Comprenda cómo se trabaja en Ciencia.
- 4- Comprenda que en Geología un mismo dato puede tener diferentes interpretaciones y que un mismo resultado puede ser debido a diferentes procesos.

Para llevar a término la actividad, los alumnos, individualmente o por parejas, buscarán en el ordenador información sobre la craterización por impacto en una serie de webs seleccionadas (conceptos, fotos, esquemas...). Paralelamente se pasará un video ilustrativo del tema. Una vez hayan adquirido unos conocimientos básicos, se les suministrarán datos sobre la polémica relacionada con el impacto múltiple en Aragón para que elaboren un resumen con los mismos. Se les debe auxiliar con los términos que no entiendan si se les remite a los artículos originales, o bien se les debe preparar un resumen lo más neutral posible. No hay que pedirles que emitan una opinión sobre qué hipótesis creen más probable, sino que juzguen si los investigadores implicados en la discusión basan sus opiniones en observaciones ajustadas a los criterios que se utilizan en la identificación de impactos o no.

El resultado del proceso debe presentarse en Power Point o Acrobat y exponerse en clase. Los recursos recomendados para llevar a término esta actividad son:

- a- Para adquirir nociones sobre craterización por impacto:

- <http://www.solarviews.com/eng/tercrate.htm>
- <http://www.solarviews.com/eng/vencrate.htm>
- <http://www.unb.ca/passc/ImpactDatabase/>

- <http://www.lpi.usra.edu/publications/slidesets/craters/>
- <http://www.lpi.usra.edu/publications/slidesets/impacts.html>
- http://www.lpl.arizona.edu/SIC/impact_cratering/intro/
- <http://liftoff.msfc.nasa.gov/academy/space/solarsystem/meteors/Craters.html>
- <http://miac.uqac.ca/MIAC/impact.htm>
- <http://www.pibburns.com/catastro/impactim.htm>

- b- Para poder descargar e imprimir el libro (o los capítulos que a uno le interesen) de French (1998) sobre craterización y metamorfismo de choque:

<http://www.lpi.usra.edu/publications/books.html>

- c. Sobre el proceso de craterización remitimos a los lectores al libro de Melosh (1987)

- d. Videos recomendados:

- National Geographic: *Catastrofes del futuro: Impacto Asteroide*
- Planeta Milagroso (capítulo 1): *El origen de la Tierra*.

B. ¿Cómo avanza la Ciencia?

En esta actividad se trata de que los alumnos/as consigan:

- a- Los conceptos suficientes para diferenciar Ciencia de lo que no lo es.
- b- Comprender cómo opera la Ciencia.
- c- Entender que no existe “el método científico” único y universal.
- d- Comprender que existen diversas perspectivas de la naturaleza de la Ciencia, o sea distintas formas de entender la Ciencia.
- e- Comprender, a partir del ejemplo del debate sobre el impacto múltiple en Aragón, que las discusiones en Ciencia no se basan en creencias sino en hechos y datos.
- f- Aprender a escuchar las opiniones de los demás, valorándolas en su justa medida y manteniendo, si ha lugar a ello, sus posturas de manera no dogmática (basándose en el razonamiento).
- g- Comprender que el proceso de revisión es básico en Ciencia.
- h- Comprender que en Ciencia “nada es para siempre”.

Para esta actividad se suministrará a los alumnos/as un resumen lo más elaborado posible sobre lo que es la Ciencia y su manera de operar, así como las diversas perspectivas o maneras de entender la naturaleza de la Ciencia. Para ello puede encontrarse abundante información en las webs presentadas en este artículo. A continuación se les proporcionarán los datos sobre el debate en torno al impacto múltiple en Aragón, incluyendo el hecho de que ha sido eliminado de la base de datos oficial

sobre estructuras de impacto (mediante un proceso de revisión científica). A partir de aquí, deben valorar si el debate se centra en torno a observaciones y si los implicados exponen sus argumentos basándose en criterios científicos y no en creencias. Asimismo deben observar si los argumentos se atienen a lo que en cada momento se aduce. En ningún caso se les debe requerir un posicionamiento en torno a una hipótesis u otra. El interés debe centrarse en como opera la Ciencia y no en si “unos ganan y otros pierden” (cosa que nunca es cierta) o en “los buenos y los malos” (aspecto a eliminar en el caso del debate científico). Es importante en todo momento fomentar el debate en torno a la manera de proceder en Ciencia ¹⁰.

Al finalizar la actividad, el alumno debe exponer el tema, elaborado en Power Point, Acrobat u otro programa al uso que permita presentaciones. Como material a utilizar en esta actividad sugerimos:

a- Sobre la ciencia y naturaleza de la ciencia:

<http://www.project2061.org/esp/tools/sfaaol/chap1.htm>
<http://www.campus-oei.org/revista/deloslectores/244Acevedo.PDF> (de imprescindible lectura, sobre todo las conclusiones de la pag. 18)
<http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo20.htm>
<http://www.salvador.edu.ar/ua1-9pub02-5-01.htm>
<http://evolution.berkeley.edu/evosite/evohome.html>

C. El riesgo por impacto

Se trata de una actividad en la que los alumnos/as deben conseguir:

- a- Comprender el concepto de riesgo.
- b- Saber lo que son los NEO (Near Earth Objects) y su peligro potencial.
- c- Conocer los principales métodos de detección de NEOs.
- d- Conocer las principales acciones para prevenir los impactos meteoríticos y sus limitaciones, así como la escala de Torino.
- e- Conocer las principales relaciones sugeridas entre impactos-procesos terrestres (extinciones, volcanismo, tectónica de placas, formación de recursos...).
- f- Conocer las principales limitaciones del registro de cráteres.

Esta actividad comienza con una explicación previa del concepto de riesgo y sus tipos. Se proyectará un vídeo sobre el tema, subrayando los as-

pectos más importantes. Después, bien de modo individual o en grupos de dos por ordenador, los alumnos se dedicarán a localizar información sobre NEOs en las webs seleccionadas. Para conocer las relaciones sugeridas entre impactos y procesos terrestres se les proporcionaran nuevas webs, en las que se tratan aspectos como la relación impactos-extinciones, impactos-volcanismo, impactos-tectónica de placas...etc. Asimismo, se les suministrarán datos a favor y en contra sobre la polémica del impacto múltiple de Aragón, incluyendo en este caso la relación sugerida con la extinción de final del eoceno y con la geología regional de la zona. No se pretende que el alumno/a se posicionase sobre cuál hipótesis es la más correcta, sino tan sólo que vean que un impacto, en el caso de tener lugar en una determinada zona, puede dar lugar a una serie de efectos más o menos importantes. Se les pide también que evalúen, en el caso de que realmente se hubiera producido este impacto, cuáles hubieran sido los efectos generados, utilizando para ello los criterios de la escala de Torino.

El resultado de todo el proceso debe ser expuesto de modo individual por el alumno/a, en formato Power Point o en Acrobat, bien en la pantalla digital (con cañón informático) o bien en un televisor que haga las funciones (en este caso se utilizará un convertidor externo VGA/TV, que permite visualizar las imágenes del PC en el televisor¹¹)

Como recursos para realizar la actividad, sugerimos:

a- Sobre riesgos:

- Brusi, D. y Roqué, C. (1998). Los Riesgos Geológicos. Algunas consideraciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 6.2: 127-138
- Olana Santos, J. y Ayala-Carcedo, F.J. (2002). *Riesgos Naturales*. Ariel, Madrid.

<http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/08RiesgN/100RiesgN.htm>
<http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/>
<http://www.ngdc.noaa.gov/seg/hazard/hazards.shtml>
<http://www.usgs.gov/themes/hazard.html>
<http://www.ngdc.noaa.gov/seg/hazard/resource/>
<http://www.doi.gov/nathaz/>
<http://impact.arc.nasa.gov/> (riesgo por impacto)
<http://impact.arc.nasa.gov/torino/> (escala Torino)
<http://www.boulder.swri.edu/clark/ncar.html> (riesgo por impacto)

b- Sobre NEOs:

<http://neo.jpl.nasa.gov/>
<http://www.planetary.org/html/neo/>

(10) En nuestro centro, y tras algunos incidentes con alumnos evangelistas radicales, partidarios de la creación (tanto en Biología como en Geología), se ha empezado a insistir no tanto en la explicación tradicional sobre la evolución sino en lo que diferencia la Ciencia de la no ciencia. Esta actividad fue diseñada y planificada, entre otras, para tratar de paliar este problema. El alumno no debe ser adoctrinado en evolución sino que es preferible suministrarle los conocimientos necesarios para discernir en cualquier ocasión lo que es un discurso científico de lo que no lo es (que es la diferencia básica entre Ciencia y Religión)

(11) La utilización de este dispositivo, que se puede adquirir por menos de 150 euros, facilita mucho las posibilidades informáticas de un centro.

http://en.wikipedia.org/wiki/Near-Earth_object

c. Videos recomendados:

- National Geographic: *Catastrofes del futuro: Impacto Asteroide*
- Planeta Milagroso: *El origen de la Tierra* (Capítulo 1 de la serie)

d. Sobre los efectos de un impacto múltiple en Aragón:

- Rampino, M. R. (1997). El impacto de Azuara y sus efectos. *Universo*, III, nº 29, 48-50.

BIBLIOGRAFÍA

Anguita, F., Márquez, A. y Claudin, F. (2000). *Réplica al artículo "Controversia científica para el aula: ¿Tiene la cubeta de Azuara un origen extraterrestre?" por A.L. Cortés Gracia y M.B. Martínez Peña (ECT, 7.2: 143-157)*. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 8.2, 148-153.

Aurell, M., González, A., Pérez, A., Guimerà, J., Casas, A. y Salas, R. (1993). *Discusión of "The Azuara impact structure (Spain): New insights from geophysical and geological investigations" by K. Ernstson & J. Fiebag*. *Geologische Rundschau*, 82, 750-755.

Claudin, K., Ernstson, K., Rampino, M.R. y Anguita, F. (2001). *Striae, polish, imprints, rotated fractures, and related features in the Puerto Mínguez impact ejecta (NE Spain)*. Abstracts, 6th ESF IMPACT workshop, Impact Markers in the Stratigraphic record, pp 15-16.

Cortés, A.L. y Martínez, M.B. (1999). *Controversia científica para el aula: ¿tiene la cubeta de Azuara un origen extraterrestre?*. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 7.2, 143-157.

Cortés, A.L. y Martínez, M.B. (2001). *Réplica a la discusión de F.Anguita, A.Márquez y F.Claudin (ECT, 8.2, 148-153) al artículo "Controversia científica para el aula: ¿tiene la cubeta de Azuara un origen extraterrestre?"*. *ECT*, 9.1, 70-75.

Cortés, A.L., Díaz-Martínez, E., Sanz-Rubio, E., Martínez-Frías, J. y Fernández, C (2002). *Cosmic impact versus terrestrial origin of the Azuara structure (Spain): A review*. *Meteoritics Planet. Sci.* 37, 875-894.

Dence, M.R. (1972). *The nature and significance of terrestrial impact structures*. *Intl. Geol.Congr.*, 24th, Montreal, Canada, Proc., Sect. 15, 77-89.

Díaz-Martínez, E., Sanz Rubio, E. y Martínez Frías, J. (2002). *Sedimentary record of impact events in Spain*. *Geological Society of America. Special Paper* 356, 551-562.

Ernstson, K. y Claudin, F. (1990). *Pelarda Formation (Eastern Iberian Chains, NE Spain): Ejecta of the Azuara impact structure*. *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.* 1990, 581-599.

Ernstson, K. y Fiebag, J. (1992). *The Azuara impact structure: New insights from geophysical and geological investigations*. *Geol. Rundschau*, 81, 403-427.

Ernstson, K., Anguita, F. y Claudin, F. (1994). *Shock cratering of conglomeratic quartzite pebbles and the search for the identification of an Azuara (Spain) probable companion impact structure*. *European Science Foundation Network: Impact cratering and evolution of Planet Earth. Third international Workshop on Shock wave behaviour of solids in nature and experiments*, Limoges,

France. Abstract book, p. 25.

Ernstson, K., Claudin, F., Schüssler, U. y Hradil, K. (2002). *The mid-Tertiary Azuara and Rubielos de la Cérda paired impact structures (Spain)*. *Treballs del Museu de Geologia de Barcelona*, 11, 5-65.

Ernstson, K., Schüssler, U., Claudin, F. y Ernstson, T. (2003). *An impact crater chain in northern Spain*. *Meteorite*, 9-3, 35-39.

Ernstson, K. (2004). *Regmaglypts on clasts from impact ejecta*. *Meteorite*, 10-1, 41-42.

French, B.M. (1990). *25 years of the impact-volcanic controversy*. *EOS*, 71-17, 409-412.

French B. M. (1998) *Traces of Catastrophe: A Handbook of Shock-Metamorphic Effects in Terrestrial Meteorite Impact Structures*. LPI Contribution No. 954, Lunar and Planetary Institute, Houston. 120 pp.

Hradil, K., Schüssler, U. y Ernstson, K. (2001). *Silicate, phosphate and carbonate melts as indicators for an impact-related high-temperature influence on sedimentary rocks of the Rubielos de la Cérda structure, Spain*, in: *Impact markers in the stratigraphic record, 6th ESF-IMPACT workshop Granada*, abstract book: 49-50.

IGME (1986). *Memoria de la hoja nº 47 (Teruel) del Mapa Geológico de España*. 1:200000.

ITGE (1991). *Memoria de la hoja nº 40 (Daroca) del Mapa Geológico de España*. 1:200000.

Langenhorst, F. y Deustch, A. (1996). *The Azuara and Rubielos structures, Spain: Twin impact craters or Alpine thrust systems? TEM investigations on deformed quartz disprove shock origin (abstract)*. *Lunar and Planetary Science*, v. XXVII: 725-726.

Melosh, H.J. (1989). *Impact Cratering. A geologic process*. Oxford Univ. Press. Oxford.

Morcillo, J.G. (2002): *El trabajo con imágenes digitales en Geología*. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 10.1: 96-100.

Rampino, M. R., Ernstson, K., Anguita, F. y Claudin, F. (1997a). *Striations, polish, and related features of clasts from impact-ejecta deposits and the "tillite problem"*. Abstracts, Conference on Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution, Sudbury, Ontario, Canada. p. 47

Rampino, M. R., Ernstson, K., Anguita, F., Claudin, F., Pope, K.O., Ocampo, A. y Fischer A. G. (1997b). *Surface features of clasts from impact-ejecta deposits and the "tillite problem"*. Abstracts with Prog. Geological Society of America. 29

Reimold, U. (2001). *The Vredefort saga*. *Geotimes*, 20, 20-23.

Shoemaker, E. M. (1977). *Why study impact craters? In Impact and Explosion Cratering*, Roddy, R.O., Pepin, R.O. y Merrill, R.B., eds. Pergamon Press, Nueva York.

Spray, J.G. (1997). *Superfaults*. *Geology*, 25, 305-308.

Spray, J.G., Kelley, S.P. y Rowley, D.B. (1998). *Evidence for a late Triassic multiple impact event on Earth*. *Nature* 392, 171-173.

Tortajada, J. (1977). *Uso de la Teledetección en la enseñanza de la Geología de la Tierra, la Luna y Marte*. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 5, Girona.

ANEXO: “NUEVOS DATOS SOBRE LA ESTRUCTURA DE AZUARA Y ZONAS LÍMITROFES: UNA CADENA DE CRÁTERES DE IMPACTO”

El término cadena de cráteres de impacto se utiliza por lo general para designar los conjuntos de tres o más estructuras generadas en un único evento de impacto. En la Tierra, aparte de unos pocos impactos dobles (p.ej., Ries-Steinheim, Clearwater este y oeste), tan sólo tres estructuras han sido consideradas como debidas probablemente a impactos múltiples. Se trata de Aourunga en el Chad, la cadena de cráteres de Missouri (en Estados Unidos), y de los cinco cráteres (distribuidos en dos continentes) formados en el Triásico tardío propuestos por Spray *et al.* (1998).

1. Antecedentes:

La detección de la cadena de cráteres de impacto sugerida aquí ha sido el resultado de un largo proceso que empieza en la década de los ochenta e inicios de los noventa con la proposición, por parte de Ernstson y colaboradores, de la estructura de impacto de Azuara que, al cumplir los criterios mínimos establecidos por Dence en 1972 (a saber: expresión morfológica [geológica y geofísica], estructuras a escalas métrica [es decir, de campo] y también microscópica) fue incluida en el inventario oficial, y la publicación de sus datos aceptada en revistas científicas nacionales e internacionales (Ernstson *et al.*, 2002). Parte de este proceso ya apareció en la revista a través del artículo de Cortés y Martínez (1999), aunque obviaron –entre otros detalles– decir que en 1994, la estructura de Rubielos

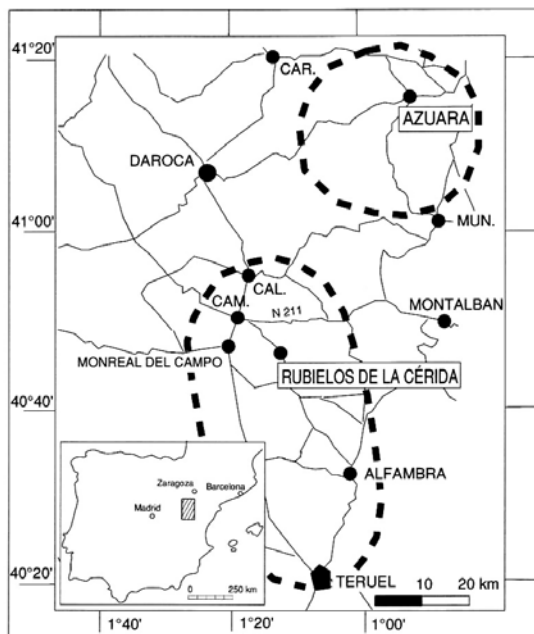


Fig. 1. Mapa de situación de la estructura de impacto de Azuara y de la cuenca de impacto de Rubielos de la Cérída. CAL = Calamocha, CAM = Caminreal, CAR = Cariñena, MUN = Muniesa.

de la Cérída fue citada como posible compañera de la estructura de impacto de Azuara (Ernstson *et al.*, 1994; ver Figs. 1 y 2)

Durante los años siguientes, el trabajo de campo y los estudios petrográficos revelaron un conjunto de rasgos (especialmente el metamorfismo de choque y las rocas de fundido de impacto) que apoyaban un origen por impacto para la estructura de Rubielos de la Cérída (Ernstson *et al.*, 2002). Y muy recientemente, a partir de un exhaustivo trabajo petrográfico y de campo, se ha sugerido (Ernstson *et al.*, 2003) que la estructura de Rubielos de la Cérída constituye tan sólo la parte norte de una cuenca de impacto elíptica (Fig. 2) probablemente producida por la colisión de un conjunto de impactores provenientes de la fragmentación de un asteroide o cometa.

2. La propuesta se amplia:

La estructura de Rubielos de la Cérída se halla localizada a unos 50 km al sur-suroeste de la estructura de Azuara. Posee un tamaño comparable (Figs. 1 y 2), y los datos de campo parecen indicar que se formó también en el Terciario medio, muy probablemente en el Eoceno Superior o el Oligoceno. Sus límites norte y oeste están bien delimitados por las rocas paleozoicas y mesozoicas de la cadena Ibérica, que definen una depresión rellena por depósitos neógenos y cuaternarios. En esta depresión se encuentra un levantamiento central circular prominente que interpretamos, en función de todos los datos, como debido al rebote elástico y al colapso del cráter de transición producido por el impacto.



Fig. 2. Huella morfológica de la cuenca de impacto de Rubielos de la Cérída. CU = levantamiento central de Rubielos de la Cérída, A = eje del levantamiento central de la cadena, T = estructura anular de Torrecilla, PM = Puerto Mínguez. Imagen morfológica elaborada a partir del mapa digital de España a escala 1:250000, realizada por Manuel Cabedo.

Por el contrario, en el sur y el este la estructura está mucho peor definida. Un trabajo de campo sistemático ha permitido proponer que la indefinición, en su parte sur, se debe a que la estructura de Rubielos de la Cérda forma una cuenca elíptica cuyo eje más largo se dispone en dirección norte-sur. La elevación central de Rubielos de la Cérda se extiende asimismo hacia el sur, formando una cadena de relieves equidistantes de los bordes de la cuenca (Fig. 2). Esta peculiar continuación tanto del levantamiento central como de la cuenca está acompañada por multitud de rasgos típicos de impacto, cuya descripción, localización y visualización en detalle puede ser consultada en <http://www.estructuras-de-impacto.impact-structures.com/spain/rubielos.htm>. En su parte este, la mala definición de la estructura de Rubielos de la Cérda probablemente esté relacionada con la presencia en aquella zona de otra estructura casi perfectamente circular de unos 12 Km de diámetro (Fig. 2). Esta estructura (Torrecilla), identificada sólo muy recientemente (Ernstson *et al.*, 2003), se interpreta como ligada al impacto múltiple.

Dividiremos en cuatro grandes apartados las pruebas que aportamos para apoyar el origen por impacto de esta cuenca: a) Rasgos morfológicos y geológicos; b) Material fundido; c) Metamorfismo de choque; y d) Depósitos de eyecta (Ernstson *et al.*, 2002 y 2003; ver también <http://www.estructuras-de-impacto.impact-structures.com/spain/rubielos.htm>).

Los rasgos geológicos de impacto (a) son brechas monomíticas de movimiento, megabrechas (Fig. 3), brechas suevíticas, grandes planos de fallas¹² y diques de brechas. Estas estructuras se pueden apreciar tanto en el levantamiento central como en la cuenca y en su borde (Fig. 4). Fuera de la cuenca, los cantos cuarcíticos de los conglomerados basales del Buntsandstein exhiben rasgos atri-



Fig. 3. Megabrecha de calizas situada en el levantamiento central de la cadena, al norte de Teruel y al noreste de Caudé. Obsérvese el pulido de la prominente superficie de erosión.

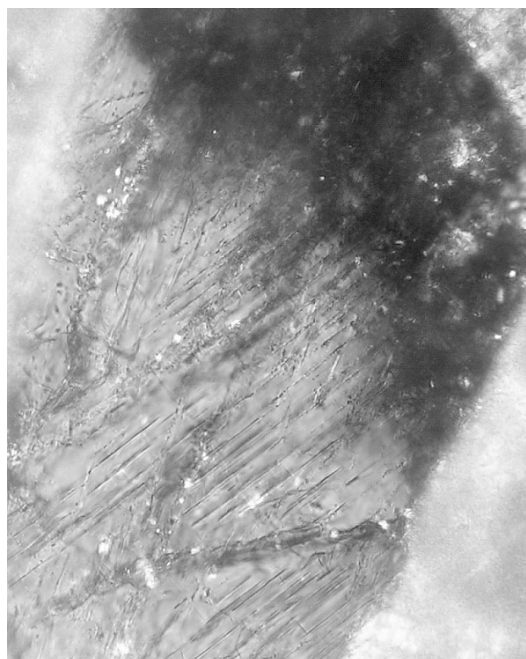


Fig 4. Rocas de fundido silicatado (cintas blanquecinas) intercaladas en una megabrecha cercana a Barrachina. La altura del afloramiento es de 3 m (puede verse en color en <http://www.estructuras-de-impacto.impact-structures.com/spain/rubielos.htm>)

buebles a una deformación por impacto y que se describen con mayor detalle en <http://www.estructuras-de-impacto.impact-structures.com/spain/shocked.htm>.

Entre los fundidos de impacto (b) (Ernstson *et al.*, 2002), hallados principalmente en una megabrecha localizada en los alrededores de Barrachina, cabe destacar la identificación (mediante análisis petrográfico, geoquímico y de difracción de rayos X) de fundido silicatado (Fig. 5), fundido de carbo-



Fig. 5. Rasgos de deformación planar (PDFs) en un cuarzo. Brecha basal suevítica sita en Son del Puerto (anillo de Torrecilla). Microfotografía obtenida con nícoles cruzados.

(12) Spray (1997) las ha llamado superfallas. Son fallas de grandes dimensiones formadas en la excavación de las cavidades producidas en los impactos.

nato-fosfato, fundido de carbonato, fundido de sulfato, fundido por choque a partir de carbón y vidrio natural (este último localizado en la parte sur de la cadena del levantamiento central). Una descripción detallada de estos fundidos puede ser consultada en <http://www.estructuras-de-impacto.impact-structures.com/spain/rubielos.htm>.

En lo referente al metamorfismo de choque (c), aparte del mismo vidrio de impacto, pueden observarse con nitidez otros rasgos como cuarzo diapléctico, PDFs en cuarzo, vidrios diaplécticos de feldespato y cuarzo en las rocas de fundido de impacto silicatado y en las brechas suevíticas halladas en la citada megabrecha. Menos frecuentemente se presentan PDFs (Fig. 6) en los clastos de cuarzo de la brecha suevítica basal y en las rocas silicatadas que se hallan expuestas en la cuenca de impacto (ver de nuevo Fig. 4). Efectos de choque moderados (PFs y bandas de kink en cuarzos, intensas bandas de kink en micas y micromaclado en calcita) se aprecian de manera regular en muestras de rocas silicatadas, procedentes en su mayoría de areniscas del Cretácico y del Permotriásico del levantamiento central de la cadena y de la zona de borde de Rubielos de la Cérica (Ernstson *et al.*, 2002). Al igual que en Azuara, se han hallado también conos astillados, quizás las estructuras de impacto más conocidas. Las localidades donde han sido observados efectos de metamorfismo de choque pueden verse en la dirección <http://www.estructuras-de-impacto.impact-structures.com/spain/rubielos.htm>.

Por último, los depósitos de eyecta (d) se encuentran localizados en la zona de Puerto Mínguez. Descritos inicialmente como depósitos enigmáticos de cuarcitas paleozoicas, estudios posteriores señalaron su similitud con la Formación Pelarda // Levantamiento central de Rubielos de la Cérica: interpretada como eyecta del impacto por Ernstson y Claudin (1990). Se trata de materiales poco cementados y frecuentemente entremezclados del Paleozoico, Mesozoico y del Terciario Inferior, depositados por flujos en masa, como lo demuestra la morfología muy variable (bien redondeados, subredondeados, angulares) de sus cantos, que en muchos casos están envueltos (textura *matrix-supported*) por una matriz arenoso-margosa. La mayoría de los guijarros, cantos y bloques están intensamente deformados, presentando en toda su superficie estriaciones que incluyen marcas en forma de uña, marcas de penetración, acanaladuras, fracturas rotacionales, fracturas irregulares con bifurcaciones complejas, pulido en espejo y superficies regmaglíticas¹³ (Rampino *et al.*, 1997 a y b; Claudin *et al.*, 2001; Ernstson, 2004). Estas características nos parecen suficientes para proponer un origen por impacto, ligado a la estructura de Rubielos de la Cérica (Claudin *et al.*, 2001; Ernstson *et al.*, 2002; Ernstson *et al.*, 2003; Ernstson, 2004; ver también <http://www.estructuras-de-impacto.impact-structures.com/spain/ptominguez.htm>).

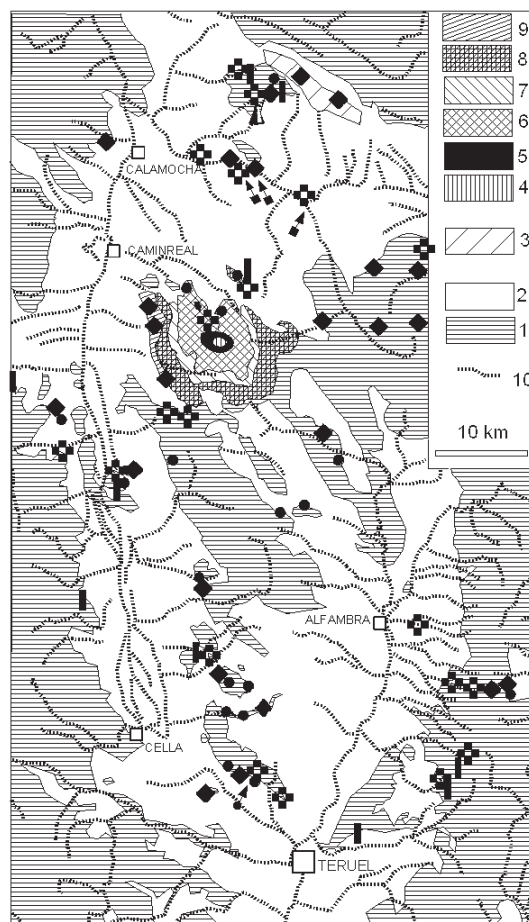


Fig.6. Mapa de situación de los rasgos de impacto en la cuenca de impacto de Rubielos de la Cérica. El mapa geológico ha sido simplificado y modificado a partir del del IGME (1986) y del ITGE (1991): 1 = Paleozoico, Mesozoico y Terciario Inferior, 2 = Terciario Superior y Cuaternario, 3 = Eyecta de la Formación Pelarda // Levantamiento central de Rubielos de la Cérica: 4 = Muschelkalk, 5 = Keuper, 6 = Rhetiense y Liásico, 7 = Dogger, 8 = Malmiense, 9 = Cretácico; 10 = patrón de drenaje. A = brecha basal (suevita), B = diques de brechas, C = Megabrechas y brechas monomícticas de movimiento, D = metamorfismo de choque, E = conos astillados, F = rocas de fundido de impacto, suevitas y brechas de tipo suevita, G = vidrio de impacto (¿pseudotaquilita?).

3. Edad propuesta para los impactos, y estructura de los supuestos impactores

Dada la escasez de vidrios de impacto y su avanzado estado de alteración (Ernstson *et al.*, 2002), todavía no ha sido posible una datación radiométrica de estas estructuras. Una datación de la

(13) Superficies con marcas semejantes a las que dejan los dedos sobre arcilla húmeda. Se originan por la presión del aire y por erosión selectiva en el trayecto atmosférico. Los meteoritos las presentan con frecuencia

estructura de Azuara, sustentada en datos paleontológicos y estratigráficos, la sitúa en el Eoceno Superior - Oligoceno (Ernstson y Fiebag, 1992; Ernstson *et al.*, 2002). Teniendo esto en cuenta, y a partir de consideraciones estratigráficas generales y de razones de proximidad, adscribimos la formación de todas las estructuras descritas al efecto simultáneo de un único gran impacto múltiple.

El dato más importante para apoyar la idea de un impacto sincrónico proviene de la posición estratigráfica de la brecha basal suevítica (Fig. 7). Es-

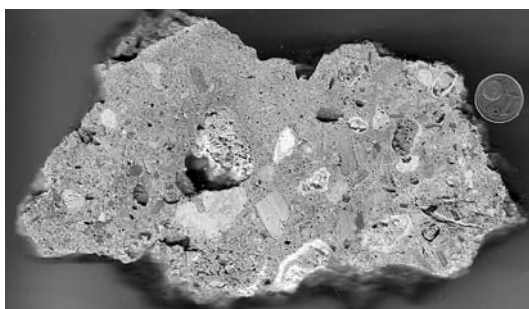


Fig. 7. Brecha suevítica polimíctica basal localizada en Villafranca del Campo (cuenca de impacto de Rubielos de la Cérda). Obsérvense la presencia de clastos de caliza vesiculados, parcialmente desintegrados, probablemente como resultado de una decarbonización por choque, fusión parcial o el conjunto de ambos fenómenos.

ta brecha peculiar que exhibe clastos fundidos y afectados por metamorfismo de choque se dispone de manera regular en la base de las rocas post-impacto del Terciario Superior, extendiéndose desde la parte norte de la estructura de Azuara hacia la parte sur de la cuenca de impacto de Rubielos de la Cérda, cercana ya a Teruel. La uniformidad de esta brecha polimíctica, su extensión y su posición estratigráfica constante, sugieren con fuerza una única fase de brechificación y depósito.

Obviamente las estructuras propuestas no fueron formadas por un único impactador sino que las atribuimos a un impacto múltiple de más de dos proyectiles (Ernstson *et al.*, 2003). Para ello nos basamos en la morfología de la cuenca de Rubielos de la Cérda. Las estructuras de impacto que presentan una desviación respecto de una simetría circular pueden ser el resultado de un impacto muy oblicuo o de una deformación tectónica post-impacto. Explicar la cuenca de Rubielos mediante un impacto oblicuo implicaría que Azuara y Torrecilla, ambas circulares y muy próximas, no se habrían formado en el mismo evento. El mismo razonamiento es válido para la deformación tectónica. La única solución válida para todas las estructuras es la caída simultánea de varios impactores, dos de los cuales, individualizados del resto, habrían dado lugar a las estructuras circulares de Azuara y Torrecilla, mientras que los demás, caídos en línea, serían los responsables de la creación de la cuenca elíptica en cuyo extremo norte se sitúa Rubielos de la Cérda. ■