

Recuperación del meteorito de Neuschwanstein: un nuevo éxito de la red de bólidos europea

Josep M. Trigo-Rodríguez y Jordi Llorca Piqué

En un número previo de la Revista Española de Física describimos el registro desde varias estaciones de la Red Europea de un espectacular bólido aparecido sobre Centroeuropa, concretamente sobre la región de Bavaria (Spurný y Trigo-Rodríguez, 2001). Finalmente el bólido fue llamado Neuschwanstein en referencia al pueblo austriaco donde parece finalizar la trayectoria. En el presente artículo recopilamos una mayor información de este bólido, especialmente la precisa reconstrucción de su trayectoria en la atmósfera que ha llevado finalmente a la recuperación de un interesante meteorito rocoso. Por si fuera poco, la órbita heliocéntrica del meteoróide plantea un interesantísimo puzzle al ser extraordinariamente parecida a la del primer meteorito recuperado en Příbram (República Checa) tras fotografiar su bólido asociado en 1959.



Figura 1. Visión detallada de la imagen all-sky obtenida del bólido Neuschwanstein desde la estación 45 Streitheim de la European Fireball Network.

La reconstrucción de la trayectoria

El 6 de abril de 2002 a las 20h20m17.7s TU un impresionante bólido alcanzaba sobre Bavaria la magnitud -17.2 en una brillante fulguración final (figura 1). Al profundizar en las capas más bajas a una velocidad muchas veces superior al sonido produjo varios estallidos sónicos que asustaron a la población. Por ello el evento fue visto por miles de testigos visuales aunque afortunadamente también captado por diversos instrumentos científicos de registro de estos bólidos pertenecientes o cooperantes en la *European Fireball Network* (figura 2). Por una parte siete estaciones fotográficas registraron el evento, de ellas cinco fueron alemanas, una checa y otra suiza. La astrometría de la trayectoria del bólido entre las estrellas desde cada una de las estaciones y su

combinación permitió obtener su trayectoria estereográfica, es decir, reconstruir el trayecto real del bólido en la atmósfera dado ya en coordenadas geográficas. Adicionalmente a los registros all-sky fotográficos el bólido fue registrado usando tres sistemas radiométricos localizados en Kunzak y el Observatorio de Ondřejov que permitieron obtener información detallada sobre el tiempo de aparición, la curva de luz y la luminosidad máxima del bólido.

La recuperación de los fragmentos

A partir de la luminosidad del bólido y el proceso de fragmentación evidenciado a lo largo de la trayectoria del bólido se dedujo que varios fragmentos totalizando una masa total próxima a los veinte kilogramos debían haber llegado al suelo (Spurný et al., 2002). La supervivencia de tales fragmentos era previsible debido a la detección del bólido a muy baja altura, tan solo a 16 kilómetros del suelo. La búsqueda de los fragmentos se pospuso hasta el verano por encontrarse en una región muy abrupta en las estribaciones de los Alpes. Finalmente el 14 de julio de 2002 se localizó un meteorito con una masa de 1,75 kilogramos (figura 3) a unos 400 metros del lugar estimado para un fragmento de esa masa (véase tabla 1), y dentro de las dimensiones esperadas de la elipse de distribución (figura 4).

Conocido el tiempo exacto de aparición del meteorito, su trayectoria real y, lo que es más importante, su órbita heliocéntrica al haber deducido de las imágenes all-sky su velocidad, puede determinarse el origen concreto en el Sistema Solar del cuerpo progenitor de este meteorito cuya masa al entrar en la atmósfera debió rondar los 600 kg. Los datos del radiante (punto en la bóveda celeste de donde parece provenir el bólido), la velocidad y los elementos orbitales

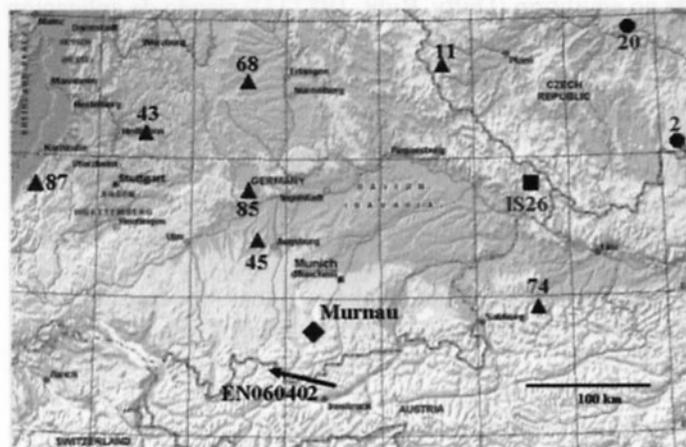


Figura 2. Localización de las cámaras fotográficas (▲), radiómetros (●), redes de infrasonidos (■) y la vídeo cámara (▼) en relación a la proyección de la trayectoria del bólido en la superficie terrestre.

M_m (kg)	H_{end} (km)	T_{Dr} (s)	W_{tr} (km)	Coordinates of the impact point	
				\ddot{e} (deg E)	\ddot{o} (deg N)
15	16.06	94.	- 0.67	10.7952	47.5366
1	20.16	184.	- 1.17	10.8517	47.5142
0.5	22.25	220.	- 1.33	10.8724	47.5062
0.1	25.24	311.	- 1.77	10.9088	47.4904
1.75	-	-	-	10.8093	47.5250

Tabla 1. Posiciones de los puntos de impacto para diferentes masas de los meteoritos. Únicamente la posición del meteorito de 15 kg está basado en valores medidos en el bólido. Otros valores son modelizados en base a una serie de datos iniciales de la trayectoria del bólido. M_m es la masa del meteorito, H_{end} la altura desde la cual el vuelo oscuro es estimado, T_{Dr} es la duración del vuelo oscuro y W_{tr} es el corrimiento transversal del meteorito debido al viento. La última fila corresponde al meteorito recuperado. Puede comprobarse que ajusta bien a los cálculos.

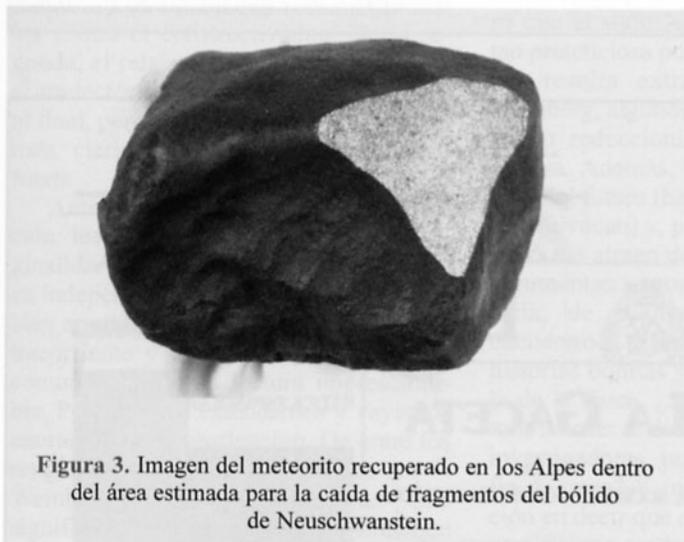


Figura 3. Imagen del meteorito recuperado en los Alpes dentro del área estimada para la caída de fragmentos del bólido de Neuschwanstein.

aparecen en la tabla 2. A título de comparación se muestra los mismos parámetros para el meteorito Pribram, primero en ser recuperado en el mundo tras fotografiar su trayectoria y calcular a partir de ella su lugar de caída. Como se aprecia ambos bólidos prácticamente aparecieron en la misma fecha y desde una órbita heliocéntrica muy similar en el Cinturón principal. Todo ello apunta a que probablemente ambos cuerpos puedan tener un mismo origen. De la observación de ambos bólidos es bastante probable que ambos cuerpos se encontrasen ampliamente separados en la órbita (cerca de la mitad del periodo) lo que apunta directamente a que en ella deben existir multitud de fragmentos. Esta es una evidencia directa de que la Tierra también intercepta enjambres de fragmentos asteroidales, suficientemente grandes como para producir meteoritos como ya sugirió Halliday (1987). Recientemente se ha descubierto la existencia de un enjambre de 39 fragmentos asteroidales siguiendo una órbita emparentada debido a una colisión entre dos asteroides en el Cinturón Principal (Nesvorný et al., 2002). Los encuentros entre asteroides precisamente delimitan la llegada de meteoritos procedentes de esa región a la Tierra.

	Neuschwanstein	Pribram
α_G (deg)	192.33 ± 0.09	192.343 ± 0.011
δ_G (deg)	19.58 ± 0.13	17.461 ± 0.002
v_G (km/s)	17.51 ± 0.05	17.427 ± 0.006
v_H (km/s)	37.46 ± 0.04	37.451 ± 0.005
a (A.U.)	2.40 ± 0.02	2.401 ± 0.002
E	0.670 ± 0.003	0.6711 ± 0.0003
q (A.U.)	0.7931 ± 0.0009	0.78958 ± 0.00007
Q (A.U.)	4.01 ± 0.04	4.012 ± 0.005
ω (deg)	241.1 ± 0.2	241.738 ± 0.015
Ω (deg)	16.82666 ± 0.00001	17.80285 ± 0.00001
i (deg)	11.43 ± 0.06	10.478 ± 0.004

Tabla 2. Coordenadas ecuatoriales del radiante geocéntrico, velocidad y elementos orbitales de los bólidos Neuschwanstein y Pribram.

Este descubrimiento tiene un gran interés científico y apoya el valor intrínseco del registro continuo de bólidos a partir de redes de estaciones como viene haciendo desde hace cerca de cuarenta años la European Fireball Network. Establecer una iniciativa de estas características en España resultaría enormemente positivo para poder recuperar meteoritos.

La composición del meteorito: un complejo puzzle

Un aspecto importante a discutir es que los meteoritos Neuschwanstein y Pribram pertenecen a dos familias diferentes de meteoritos rocosos; Pribram es una condrita H5 mientras que Neuschwanstein es una condrita EL6. El hecho que ambos meteoritos parezcan proceder del mismo enjambre asteroidal tiene repercusiones muy importantes en el campo de la cosmoquímica. Existen básicamente dos modelos distintos para explicar la estructura interna de los asteroides (Llorca, 1995). Por un lado, el modelo en capas supone que después de la acreción del asteroide tuvo lugar en el mismo procesos de metamorfismo y/o de alteración acuosa que generaría los distintos tipos de meteoritos de una misma familia, que quedarían confinados en forma de capas a distinta profundidad. Por otro lado, el modelo de apiñamiento de escombros dice que la estructura interna de los asteroides no es homogénea sino que responde al apiñamiento de distintos fragmentos que pueden haber tenido historias metamórficas distintas. Pero ninguno de los dos modelos contempla la posibilidad que se encuentren asociados meteoritos de familias distintas, como es el caso de Pribram y Neuschwanstein. Las condiciones bajo las cuales se formaron estos dos meteoritos, en particular la fugacidad de oxígeno, fueron muy diferentes, de manera que se supone que se formaron en zonas distintas en el cinturón principal de asteroides. ¿Cómo se explica entonces que ambos meteoritos procedan del mismo enjambre asteroidal? Si sus asteroides progenitores se formaron en regiones distintas entonces se requiere que alguno de ellos cambiara su órbita para posteriormente chocar con el otro y generar así el enjambre. Otra posibilidad es llevar al modelo de apiñamiento de escombros a su extremo,

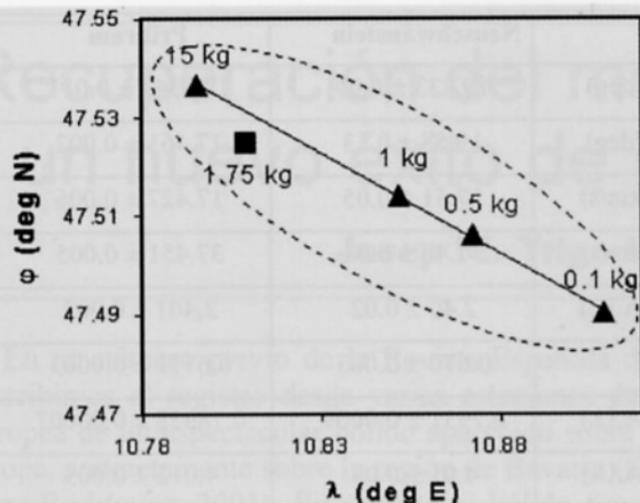


Figura 4. Localización teórica de los fragmentos y elipse de distribución del meteorito de Neuschwanstein a partir de los datos de su trayectoria atmosférica (\blacktriangle) y localización del meteorito encontrado (\blacksquare).

de manera que pueda imaginarse la formación de asteroides a partir de fragmentos tan dispares como para pertenecer a familias distintas. Si éste fuera el caso, entonces la acreción de los cuerpos asteroidales y planetarios en el sistema solar interno fue mucho más caótica de lo que imaginábamos.

Bibliografía

- [1] HALLIDAY I. (1987) "Detection of a meteorite stream: Observations of a second meteorite fall from the orbit of the Innisfree chondrite" *Icarus*, **69** pág. 550-556.
- [2] LLORCA, J (1995) "Els meteorits: Què són i per a què serveixen / Los meteoritos: Qué son y para qué sirven (edición bilingüe). Ed. Fund. Publ. Institut Estudis Ilerdencs. ISBN 84-87029-63-9.
- [3] NESVORNÝ D., BOTTKE W.F.JR., DONES L. Y LEVISON H.F. (2002) "The recent breakup of an asteroid in the main-belt region", *Nature*, **417**, pp. 720-724.
- [4] SPURNY P., D. HEINLEIN AND J. OBERST (2002) "The atmospheric trajectory and heliocentric orbit of the Neuschwanstein meteorite fall on April 6, 2002", Proc. Asteroids, Comets, Meteoroids 2002, Berlin, ESA Publication, in press.
- [5] SPURNY P. AND J.M. TRIGO-RODRÍGUEZ (2002) "Bólide histórico sobre Centroeuropa: la European Fireball Network confirma la presencia de enjambres de fragmentos asteroidales", *Revista Española de Física* **16** (3) pág. 69.

Josep M. Trigo-Rodríguez
está en la Universitat Jaume I (Castellón)
y Jordi Llorca Piqué
está en la Universitat de Barcelona y en el Institut
d'Estudis Espacials de Catalunya