

# **EL SUPERBÓLIDO DEL 4 DE ENERO DE 2004 Y EL METEORITO *VILLALBETO DE LA PEÑA***

Saúl Blanco<sup>1</sup>, Ricardo Chao<sup>1</sup>, José Vicente Casado<sup>1</sup>, Oscar Díez<sup>2</sup>, Jordi Llorca<sup>3</sup>, José Luís Ortiz<sup>4</sup>, José A. Docobo<sup>5</sup>, Josep M. Trigo-Rodríguez<sup>6</sup> y Alberto J. Castro-Tirado<sup>4</sup>.

1. Asociación Leonesa de Astronomía
2. Agrupación Astronómica Palentina
3. Universitat de Barcelona
4. Instituto de Astrofísica de Andalucía
5. Observatorio Astronómico Ramon Maria Aller. Univ. Santiago de Compostela
6. Institute of Geophysics & Planetary Physics, University of California Los Angeles

**El domingo 4 de enero de 2004 a las 16h46m45s T.U.C. un impresionante bólido con destellos más intensos que la Luna llena fue observado por miles de personas desde la mitad norte peninsular. Del objeto inicial, con una masa preatmosférica aproximada de media tonelada, han sido recuperados varios meteoritos, los primeros recuperados en territorio español en más de medio siglo. En el presente artículo se describe la labor de los aficionados en la búsqueda y recuperación de fragmentos así como también en la calibración de las fotografías y el vídeo casual que van a permitir el cálculo de la trayectoria atmosférica y de la órbita heliocéntrica del cuerpo progenitor con una precisión jamás obtenida desde nuestro país.**

## **1. INTRODUCCIÓN: UN BÓLIDO HISTÓRICO.**

La tarde del domingo 4 de enero será recordada durante mucho tiempo no sólo por los astrónomos aficionados y profesionales dedicados al estudio de meteoros y meteoritos, sino también por los millares de personas que fueron testigos en toda la mitad norte de la Península Ibérica y el suroeste de Francia de uno de los bólidos más espectaculares observados en España en los últimos tiempos. Aproximadamente a las 16h46m45s Tiempo Universal Coordinado (T.U.C) irrumpía en el cielo una veloz bola de fuego que sorprendió a los cientos de ciudadanos que disfrutaban de una tarde apacible. Las festividades de Navidad y los partidos de fútbol que se disputaban en esos momentos en muchos pueblos y ciudades contribuyeron sin duda a incrementar el número de observadores de tan singular fenómeno. El extraordinario brillo del meteoro (la magnitud estimada es de  $-18 \pm 1$ ) le convirtieron en un objeto perfectamente visible a plena luz del día durante escasos segundos; instantes que, afortunadamente, pudieron ser registrados para la posteridad en varias fotografías e incluso un fragmento de vídeo que recoge la impresionante fragmentación sufrida por este cuerpo al adentrarse en la atmósfera terrestre. Tras varios meses de intensa investigación, el superbólido del 4 de enero se ha revelado como uno de los fenómenos astronómicos más trascendentales acontecidos en España en los últimos tiempos. Su despliegue de color, los fenómenos sonoros asociados, la profundización del material en la atmósfera y la estela persistente durante más de 30 minutos indican que se trata de uno de los acontecimientos más importantes que hayamos vivido en la Península Ibérica en este campo durante los últimos siglos y, sin duda, pasará a la historia como, de momento, el mejor documentado de nuestro país. Además, pocos días después aparecían en el norte de la provincia de Palencia los primeros meteoritos asociados a este bólido, los primeros hallados en España desde 1947 (meteorito de Reliegos). Es la primera vez que se

reconstruye la trayectoria de un bólido tan grande en España y una de las escasas ocasiones en las que se han podido recuperar meteoritos gracias al cálculo de su elipse de distribución. Resulta especialmente importante el hecho que va a ser posible reconstruir con precisión la órbita en el Sistema Solar del bólido, con lo que se podrá relacionar las características de los meteoritos recuperados con un emplazamiento concreto del Sistema Solar. Un aspecto importante para la ciencia.

## 2. EL SUPERBÓLIDO DEL 4 DE ENERO. PRIMERAS INVESTIGACIONES E HIPÓTESIS SOBRE SU TRAYECTORIA

Gran parte de los noticiarios televisados de la noche del domingo 4 de enero abrían con una noticia confusa y alarmante sobre la aparición de varios objetos muy brillantes avistados desde diferentes regiones de la Península Ibérica, surcando los cielos a gran velocidad y dejando tras de sí una persistente estela de humo blanquecino. Cientos de llamadas telefónicas colapsaron las centralitas de los servicios de emergencia, alertando sobre lo que en un principio parecía ser un desastre aeronáutico; pues tal pareció ante los atónitos testigos que contemplaron el evento durante la, hasta entonces, tranquila tarde dominical. Los primeros informes, muy confusos, hablaban de avistamientos desde Galicia, Castilla-León, Madrid, Castilla-La Mancha, Aragón, Cataluña, Baleares, Comunidad Valenciana e incluso Andalucía. El fenómeno llegó a ser visible también desde Portugal y el sur de Francia. Más aún, se habló también de presuntos impactos meteoríticos e incluso incendios supuestamente relacionados con este fenómeno en diversas localidades de León, Cuenca y Castellón. Las autoridades movilizaron a bomberos, guardia civil y policías locales. Esta atribución a incendios forestales sigue siendo común en este tipo de eventos pese a que los meteoritos no queman al llegar al suelo (a no ser que sean meteoritos enormes, de los que crean grandes cráteres al caer). La hipótesis del accidente de avión o de la reentrada de algún objeto artificial en la atmósfera terrestre quedó descartada a las pocas horas a favor de la hipótesis astronómica gracias a la confirmación por parte del *Center for Orbital and Reentry Debris Studies*. Según la reconstrucción inicial del fenómeno realizada a partir de los primeros testimonios, los investigadores integrados en la Red de Investigación sobre Bólidos y Meteoritos confirmaron que se trataba en realidad de un impresionante bólido producido por la entrada en la atmósfera terrestre de un fragmento de un asteroide.

Las hipótesis preliminares acerca de la trayectoria del meteoro, realizadas a partir de las informaciones proporcionadas por los medios de comunicación, parecían indicar que el objeto penetró en nuestra atmósfera a la altura de Galicia, cruzando la Península en pocos segundos en dirección SE, de forma que se correspondiera con los testimonios reportados desde diversas localidades levantinas. Sin más datos se sugirió también que el meteoro podría estar relacionado con el enjambre de las Cuadrántidas, que precisamente alcanzan su máximo alrededor del 4 de enero. Además de que ese enjambre cometario nunca ha producido bólidos de esa magnitud, durante los siguientes días se vio cada vez más claro que tal recorrido no podía corresponderse con la realidad. Cotejando los rumbos deducidos a partir de los testimonios más fiables y, sobre todo, de los documentos gráficos, se fijó una trayectoria preliminar: el bólido sobrevoló el sur de la provincia de León, ciudad a la que pasó cuando se encontraba a unos 80 kilómetros de altura dirigiéndose hacia Guardo (Palencia) y explotando poco después a unos 30 kilómetros de altura sobre el Norte de la provincia de Palencia. Los fragmentos supervivientes siguieron profundizando en la atmósfera generando todavía luz por debajo de los 20 kilómetros de altura.

### 3. PISTAS FALSAS: RENEDO DE VALDERADUEY Y VILLALOBAR

En la noche del día 4 la localidad leonesa de Renedo de Valderaduey ya sonaba como el lugar desde donde más claramente se observó el fenómeno. Varios miembros de la Asociación Leonesa de Astronomía (ALA) se personaron en el lugar a las pocas horas, con la intención de hacer un pequeño estudio de campo y poder recopilar todos los testimonios posibles antes de la llegada de los medios de comunicación. Los vecinos relataban la aparición de una veloz bola de fuego prácticamente encima de sus cabezas acompañada de un zumbido claramente audible que se desintegró y desapareció en el horizonte dejando una estela de humo blanquecino persistente. A los pocos minutos se oyó un fuerte estruendo seco en toda la comarca, acompañado de una pequeña vibración sísmica; y cuatro o cinco pequeñas explosiones posteriores. La ALA estuvo acompañando a los efectivos de la Guardia Civil en las labores de rastreo en busca de posibles impactos meteoríticos. Se trata de una zona abrupta y poco poblada, ocupada en su mayor parte por un extenso pinar de repoblación localizado en la frontera entre las provincias de León y Palencia, prácticamente inaccesible. Los helicópteros de la benemérita exploraron una amplia región alrededor de esta zona, sin reportar ninguna anomalía. La búsqueda, infructuosa, concluyó al día siguiente. Poco después sabríamos que los meteoritos en realidad se escondían a varias decenas de kilómetros de este lugar.

El día 10 de enero volvieron a sonar las alarmas: unos vecinos de la localidad leonesa de Villalobar (también cerca de la trayectoria preliminar del bólido) afirmaban haber hallado una extraña roca en el suelo de unos viveros de su propiedad, que había atravesado limpiamente el plástico del techo y varias capas de lona en el suelo hasta incrustarse en el substrato de turba. Cuando observamos la roca *in situ* pudimos descartar casi inmediatamente la posibilidad de un fraude, algo que, por otra parte, era posible dada la expectación mediática que había suscitado el caso. Pudimos comprobar que el borde de la tela agujereada por la piedra estaba visiblemente quemada, lo cual indica que el fragmento penetró a elevadas temperaturas y gran velocidad. El objeto, de unos 9x5x4 cm, tenía aspecto metálico, con brillo iridiscente y una evidente corteza oscura en una de sus caras. Se trataba de un claro candidato a meteorito, por lo que inmediatamente se avisó a la Guardia Civil para que lo recogiera y lo entregara al CSIC para su análisis. Sin embargo, los resultados del estudio realizado por el laboratorio de geología planetaria del Centro de Astrobiología confirmaron que la muestra no tenía procedencia extraterrestre, al igual que otros presuntos meteoritos hallados en Zamora, que resultaron ser escorias terrestres. Por otra parte, los cráteres hallados en Cuenca no tenían relación alguna con impactos meteoríticos.

### 4. CÁLCULO DE LA TRAYECTORIA Y CALIBRACIÓN ASTROFOTOGRAFICA DE LAS OBSERVACIONES.

Afortunadamente, el registro gráfico del fenómeno del 4 de enero es uno de los más amplios y detallados que se recuerda para un bólido diurno. A la media docena de fotografías de buena calidad que se conservan de la estela o del propio meteoro, hay que añadir un impresionante video captado casualmente por Luis Alfonso Fernández y Carmen Blanco desde el centro de León, que recoge el momento exacto de la fragmentación del cuerpo principal en una concatenación de varias explosiones separadas por fracciones de segundo. Las investigaciones preliminares eran optimistas en cuanto a la posibilidad de supervivencia de alguno de estos fragmentos en forma de

meteorito, y la Red de Investigación sobre Bólidos y Meteoritos se puso inmediatamente manos a la obra para estudiar el material disponible e intentar calcular la trayectoria del meteoro a fin de poder delimitar el área de impacto de los fragmentos. Para ello era imprescindible determinar con la mayor precisión posible las coordenadas celestes del bólido en distintos momentos y desde diferentes puntos, reproduciendo las fotografías durante la noche de la forma más parecida posible a como se tomaron originalmente, pero con exposiciones más largas para poder realizar una calibración precisa en base a posiciones estelares.

De este modo, varios equipos de la ALA y de la Agrupación Astronómica Palentina (AAP) se dedicaron durante las semanas posteriores a realizar la calibración astrofotográfica de los distintos documentos disponibles, provistos de un receptor GPS y de un reloj sincronizado con la señal DCF-77. En algún caso, como en la ciudad de León, fue necesario interrumpir el suministro eléctrico durante unos minutos en la zona circundante para poder captar algunas estrellas. Tras varios intentos infructuosos, y siempre gracias a la inestimable ayuda de los autores de estos registros gráficos tan valiosos, conseguimos finalmente obtener los datos necesarios para calcular con bastante precisión la magnitud, la trayectoria y velocidad del bólido -estimada en unos 15-20 grados por segundo- y, por tanto, la elipse donde se distribuyeron los posibles meteoritos. Para el caso de las observaciones visuales, también se realizaron mediciones con teodolito de la altura y el acimut aproximado del meteoro, de acuerdo a las indicaciones de los testigos.

## 5. LA “CAZA DEL METEORITO”

A medida que avanzaban los análisis de los datos disponibles, se hizo evidente que existían posibilidades reales de que buena parte del material del bólido hubiera sobrevivido a la reentrada atmosférica y que se encontrara disperso en una zona cada vez más concreta del norte de Palencia. Apenas dos semanas después del fenómeno, el periodista Abel Tarilonte anunciaba el descubrimiento de dos pequeñas piedras negruzcas halladas casualmente por José Luis Allende en una pista cercana a la localidad palentina de Villalbeto de la Peña. El Dr. Javier García Guinea, del Museo Nacional de Ciencias Naturales, fue el primero en ver las muestras y apuntó que podía tratarse de meteoritos. La confirmación y posterior análisis corrió a cargo del Dr. Jordi Llorca (Universidad de Barcelona). Eran los primeros meteoritos hallados en España desde hacía más de 50 años, a los que posteriormente, gracias a la reconstrucción de la trayectoria, se añadirían más muestras hasta completar los casi tres kilogramos recuperados hasta ahora. De acuerdo con las normas de nomenclatura, el meteorito ha quedado registrado de manera oficial en el catálogo de la Meteoritical Society con el nombre de la localidad donde aparecieron los primeros fragmentos: Villalbeto de la Peña.

La alegría y emoción iniciales por este sensacional descubrimiento científico se vieron atenuadas al comprobar que, pocos días después del evento, varios individuos habían estado recorriendo exhaustivamente la zona en busca de posibles meteoritos. En concreto, un coleccionista alemán se hizo con un número indeterminado de fragmentos de los que nada se ha vuelto a saber desde entonces. Tampoco tardaron en aparecer en internet subastas de algunos meteoritos “hallados en Renedo de Valderaduey” que por sus características eran completamente falsos. El 10 de marzo, un equipo de aficionados franceses halló una pieza de más de 1 kg en la montaña palentina, la mayor encontrada

hasta hoy, que también fue sustraída sin permiso de las autoridades españolas. Aunque éste no es quizás el foro idóneo para exigir responsabilidades, lo cierto es que ha existido una notoria desidia administrativa para evitar la desaparición de estos excepcionales tesoros científicos. Hay que tener en cuenta que, según la legislación vigente, todos los meteoritos que se han recuperado (y los que se recuperen en un futuro) pueden incluirse como parte del patrimonio de Castilla y León, y, por tanto, son bienes de dominio público cuyo hallazgo debe de ser comunicado inmediatamente a las autoridades.

A fin de evitar el expolio de nuestro patrimonio y recuperar la mayor cantidad posible de meteoritos para delimitar la elipse de distribución y para su estudio en el laboratorio, dos equipos coordinados de voluntarios se dedicaron durante varias semanas al rastreo exhaustivo de la región y a la recopilación sistemática de todos los testimonios que ayudaran a delimitar la zona de búsqueda. Los resultados no se hicieron esperar. El primer equipo, liderado por el Dr. García Guinea, recuperó un total de siete fragmentos; y el segundo, liderado por José Vicente Casado e integrado por miembros de la ALA y de la AAP, encontró cinco piezas más.

¿Cómo se busca un meteorito? Aunque existen intentos de sistematizar el proceso de búsqueda y recuperación de meteoritos, lo cierto es que cada nuevo caso supone un reto distinto en el que entran en juego la cantidad y calidad de datos disponibles, las circunstancias en las que tuvo lugar la caída, los condicionantes geográficos, la capacidad de los equipos de búsqueda y, hasta cierto punto, la suerte. Así, la zona donde han ido apareciendo los fragmentos se corresponde con la Comarca de la Peña, una zona de la provincia de Palencia de gran belleza, relativamente abrupta y montañosa, asentada en las estribaciones meridionales de la Cordillera Cantábrica. Se trata de una región escasamente poblada, con una red de caminos y pistas forestales no muy densa, lo que limita en cierta medida la cantidad de terreno accesible para su prospección visual. Adicionalmente, en el norte de esta provincia se localizan numerosas explotaciones de carbón a cielo abierto, lo que hace que existan grandes cantidades de rocas de aspecto negruzco en el terreno que ralentizan sensiblemente el proceso de discriminación visual. Por último, los detectores de metales, que parecen haber dado resultados positivos en otros casos, se antojaron inútiles en nuestra búsqueda.

Con los primeros datos ya se pudo reconstruir una elipse provisional que delimitaba una zona de 15×5 km en la que teóricamente se hallaría la mayor densidad de meteoritos. A medida que se fueron recuperando piezas y se avanzaba en la calibración astrofotográfica, esta región fue concretándose, lo que permitió concentrar las labores de búsqueda en un terreno relativamente pequeño que fue explorado exhaustivamente a lo largo de varias expediciones. El trabajo consistió inicialmente en el estudio detallado de la topografía de la zona a fin de detectar zonas de posible acumulación de restos o puntos que proporcionaran una mejor visibilidad del terreno circundante. De esta forma se delimitaron una serie de “zonas calientes” que fueron batidas por equipos de cinco a diez personas, caminando en paralelo separadas unos 10 m entre sí. Las regiones periféricas fueron recorridas en automóviles a baja velocidad, con la intención de cubrir visualmente la mayor cantidad posible de terreno a costa, claro está, de obviar los fragmentos más pequeños. La búsqueda de meteoritos en el suelo fue un trabajo arduo ya que en realidad muchos nunca habíamos tenido un meteorito en nuestras manos y, por tanto, no sabíamos exactamente la apariencia real de lo que estábamos buscando. La falta de experiencia y, quizás, el exceso de entusiasmo, proporcionaron un gran número

de falsas alarmas iniciales; hallazgos de muestras muy similares a las preciadas rocas que tuvieron que ser descartadas una por una. Sin embargo, estas decepciones iniciales, lejos de abatir nuestro ánimo, nos impulsaron a continuar aún con más intensidad nuestra tarea hasta que finalmente nuestros esfuerzos se vieron recompensados con el hallazgo de varios fragmentos, esta vez sí, de origen inequívocamente extraterrestre. Lo que más nos llamó la atención es la facilidad con que estas pequeñas piedras pueden pasar desapercibidas ante un observador poco atento. En el caso de algunas de ellas, sólo reparamos en su presencia en la segunda o tercera pasada. La mayoría aparecieron suavemente asentadas sobre el terreno o en la vegetación; o levemente incrustadas en el suelo en el caso de las más pesadas. Sólo en contadas ocasiones se encontraron en el interior de masas forestales, en alguna de las frecuentes incursiones que realizamos en los densos bosques de la región. Se trataba de rocas de color negro mate, de contorno redondeado y superficie ligeramente rugosa al tacto, con la típica corteza de fusión formada por la fricción atmosférica. En algún caso aparecían fraccionadas, exhibiendo entonces una superficie granulosa de color gris blanquecino y brillo metálico. Sólo observándolos de cerca se percibe su naturaleza radicalmente distinta a la de las rocas vecinas, dado que la mayoría presenta esa corteza de fusión característica producida durante la ablación del meteorito en la atmósfera terrestre y pequeños puntos de metal en su interior.

## 6. UNA GRAN EXPERIENCIA PARA CUALQUIER AFICIONADO.

La observación de un superbólido diurno o el hallazgo de un meteorito es una de las emociones más intensas a las que puede aspirar un astrónomo aficionado. El hecho de que ambos fenómenos se relacionen entre sí en uno de los casos más espectaculares que se recuerdan en nuestro país supera ampliamente las expectativas de dos modestas agrupaciones de astrónomos aficionados que, de la noche a la mañana, se vieron implicadas en una aventura que aún está lejos de concluir. El análisis de los meteoritos y de la órbita del cuerpo progenitor continúa. En cualquier caso, todas las decepciones y sinsabores iniciales, todo el esfuerzo que ha implicado estos meses de trabajo quedan sobradamente recompensados cuando, en un rincón perdido de la montaña palentina, aparece una pequeña piedra que, quizás, esconde la clave para comprender un poco mejor el origen de este diminuto rincón del Universo.

### AGRADECIMIENTOS:

Muchas personas requieren un reconocimiento expreso por la ayuda desinteresada que nos han brindado. Emilio Carreño (Instituto Geográfico Nacional) facilitó datos sísmicos para estudiar la fragmentación atmosférica del bólido desde la estación de Arriondas. Bartolomé Orfila y Juan Guerra (Instituto Nacional de Meteorología) proporcionaron modelos y perfiles del viento que permitieron modelizar el vuelo obscuro de los meteoritos. Vicente-Juan Ballester, Javier Bedit, Josep Cruz, José Ignacio Cuende, Sergio Dalmau, Alvaro Faraco, Vicent Favà, Fernando Fontenla, Francisco Galindo, Francisco M. Garrido, Montse Guiu, Jaime Izquierdo, María Maximina Robles, Francisco Ocaña, Joan Penalver, José María Pérez, Alejandro Polanco, Ramon Puigmneró, Miquel Rafa, Oscar A. Rodríguez, Jesús San José, Mari Carmen Sobrinos, Joaquín Tapioles, Jordi Tapioles, Jordi Torra y Raul Varona y otras personas que han preferido mantenerse en el anonimato enviaron observaciones sobre la apariencia y trayectoria del bólido. Stanislaus Erbrink colaboró en la calibración de las imágenes fotográficas. José Antonio Quesada y Pablo Santos del Instituto de Astrofísica

de Andalucía también han contribuido a este trabajo. Abel Tarilonte cedió uno de los meteoritos que obtuvo de José Luís Allende para su estudio. Finalmente nuestro reconocimiento al Colegio "La Robla" de León y en particular a sus destacados estudiantes del firmamento por su valiosa descripción del evento: Omar Álvarez, Diego Bobis, José M<sup>a</sup> Follado y Jorge Borjas.

#### BIBLIOGRAFIA

Chao, R. (2004) El bólido del 4 de enero y la caza del meteorito. *Leo* 70: 28-32 [Accesible en [http://organizaciones.bornet.es/ala/El\\_Meteorito.htm](http://organizaciones.bornet.es/ala/El_Meteorito.htm)]

González, X. (2004) Seguimiento de prensa del bólido del 4 de enero. *Leo* 70: 24-27 [Accesible en <http://organizaciones.bornet.es/ala/ALA-meteoritoyprensa.htm>]

Llorca, J. (2004) Meteoritos y cráteres. Ed. Milenio. ISBN 84-9743-124-3.

The Meteoritical Bulletin (2004) No. 88, *Meteoritics and Planetary Science* 39, 7, 215.

Trigo-Rodríguez, J.M., J.A. Docobo, J.L. Ortiz y J. Llorca (2004) Un superbólido sobrevuela la Península Ibérica en pleno día, siendo filmado desde varios puntos de España. Página web de la Red de Investigación sobre Bólidos y Meteoritos. [Accesible en <http://www.spmn.uji.es/ESP/noveda38.html>]

Trigo-Rodríguez, J.M., J. Llorca, J.L. Ortiz, J.A. Docobo, A. Castro-Tirado, J. García-Guinea, A.E. Rubin, P. Spurny, J. Borovicka and I. Casanova (2004) The Villalbeto de la Peña meteorite fall, bolide description, recovery and classification. *Meteoritics and Planetary Science*, 39, A106.

Trigo-Rodríguez, J.M., J. Llorca, J.L. Ortiz, J.A. Docobo, J. García-Guinea, A. Castro-Tirado, A.E. Rubin, P. Spurny, J. Borovicka, P. Spurny, O. Eugster, M. Laubenstein, W. Edwards and I. Casanova (2004) The Villalbeto de la Peña meteorite fall, bolide trajectory, orbit and meteorite recovery. En preparación.

# FIGURAS

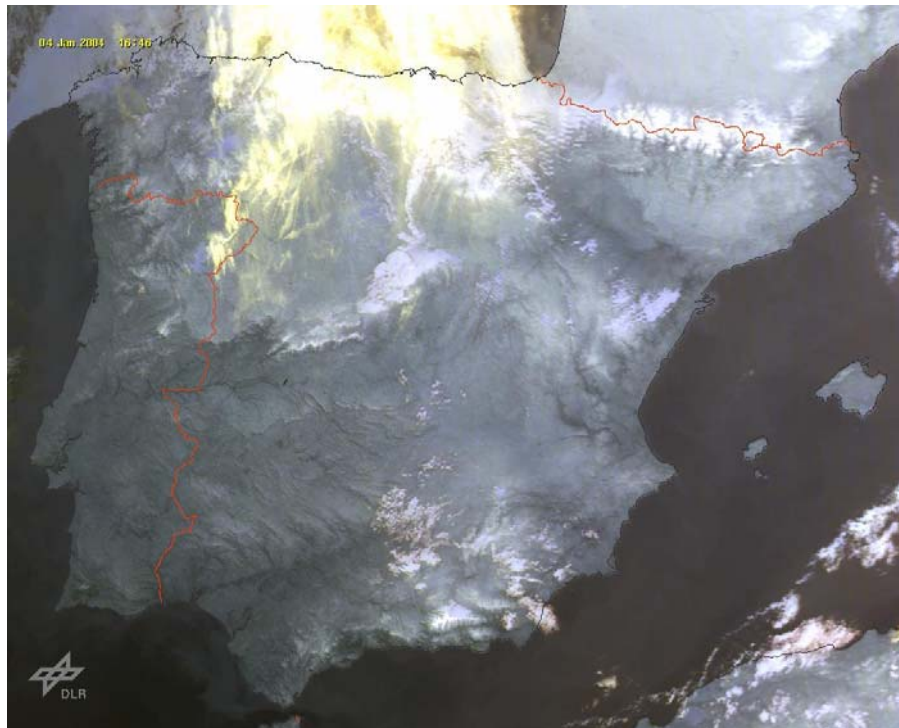


Figura 1. a) Trayectoria proyectada en la superficie terrestre del superbólido del 4 de enero de 2004. En el mapa se indican también las poblaciones desde las cuales se han recibido registros visuales, fotográficos, vídeo e incluso la detección sísmica de la estación de Arriondas (Instituto Geográfico Nacional). b) Imagen obtenida por el satélite NOAA a las 16h46m TU donde se aprecian las condiciones de visibilidad del evento. Imagen cortesía NOAA.





Figura 2. Impresionante fotografía del bólido registrado por Salvador Díez desde las Hoces de Vegacervera (León). Es una de las imágenes que ha podido calibrarse con imágenes nocturnas dada la posición del bólido en referencia a los detalles del horizonte del lugar. Imagen cortesía del autor.



Figura 3. a) Apenas un minuto tras un impresionante relámpago “sin nubes de tormenta” y posterior estruendo oído por las familias de Villalbeto de la Peña, Jesús Martín captó esta imagen de la estela persistente dejada por el bólido en su tramo final. Una nube baja de color rojizo se superpone en el tramo inicial. El sentido de vuelo fue de la esquina inferior izquierda a la superior derecha, evidenciando una gran nube producida en la fragmentación principal y otras tres de menor tamaño producidas por fragmentaciones secundarias. b) Veinte minutos después de la aparición del bólido, los fuertes vientos estratosféricos habían desplazado la estela hacia las proximidades de la Luna. Imágenes cortesía Jesús Martín.

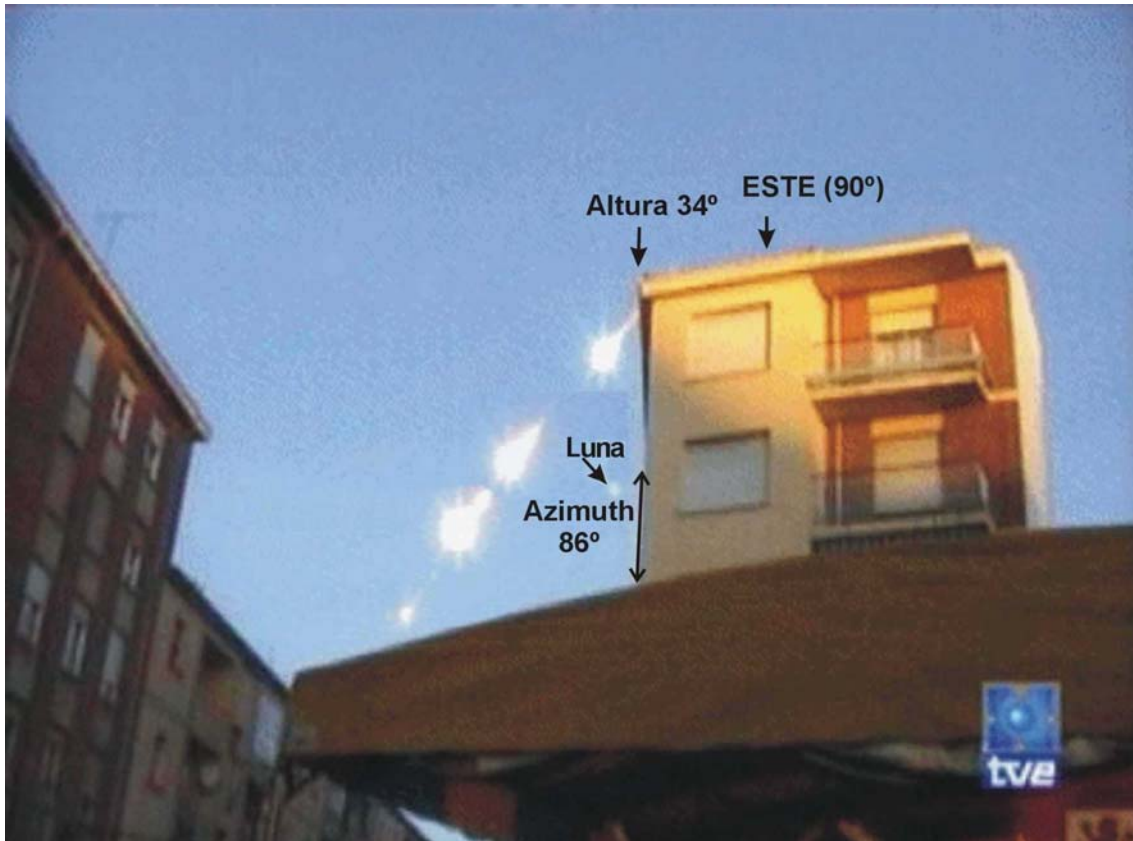


Figura 4. Secuencia de fotogramas y primeras cotas obtenidas por Ricardo Chao y Saúl Blanco del histórico vídeo captado desde León por Luis Alfonso Fernández y Carmen Blanco. A partir de estas imágenes se obtuvo la primera trayectoria provisional que llevó a la recuperación de los primeros meteoritos. En las secuencias intermedias se recoge el instante de la fragmentación del cuerpo principal.



Figura 5. Panorámica del Norte de Palencia con una reconstrucción de la apariencia del bólido realizada por Josep M. Trigo (UCLA) en base a una imagen panorámica de Jesús Martín. En la imagen se indican las principales poblaciones.



Figura 6. Uno de los meteoritos de *Villalbeto de la Peña* encontrados por los miembros de la Agrupación Leonesa de Astronomía y Asociación Astronómica Palentina bajo la dirección de José Vicente Casado.

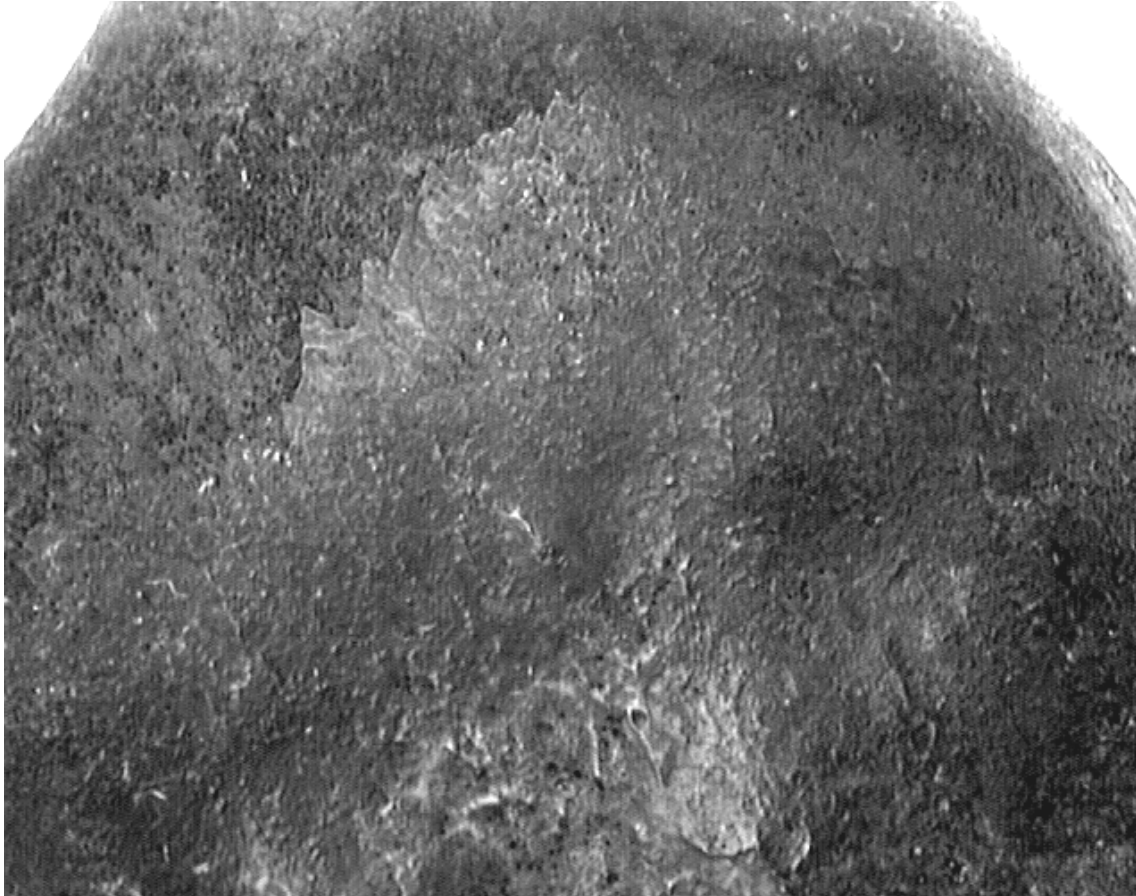


Figura 7. Detalle de la superficie de uno de los meteoritos donde se aprecia una doble corteza de fusión debido a las múltiples explosiones del bólido (la fotografía mide unos 3 cm de lado). Imagen Jordi Llorca (Universitat de Barcelona).



Figura 8. Interior y exterior de uno de los meteoritos. Se trata de un meteorito rocoso, una condrita ordinaria del tipo L6. Se observa una matriz gris, diversos cóndrulos redondeados, partículas de metal libre y sulfuro (cada cuadrado pequeño del papel representa 1 mm). Imagen Jordi Llorca (Universitat de Barcelona).



Figura 9. Imágenes de una sección delgada obtenida con microscopio óptico. La imagen de luz reflejada (izquierda) muestra granos metálicos (blanco), de sulfuro (amarillo claro) y silicatos (marrón). La imagen de luz transmitida (derecha) muestra la textura recristalizada típica de una condrita ordinaria L6. Imágenes Josep M. Trigo (UCLA).