

LA PRIMERA RED CCD DE TODO EL CIELO PARA REGISTRAR BÓLIDOS Y RECUPERAR METEORITOS

Josep M. Trigo-Rodríguez^{1,2}
Juan Fabregat⁵

Alberto J. Castro-Tirado³
José L. Ortiz³

Jordi Llorca^{2,4}
José A. Docobo⁶

¹ Institut Ciències de l'Espai - CSIC (trigo@ieec.uab.es) ² Institut d'Estudis Espacials de Catalunya (IEEC)
³ Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), Granada ⁴ Institut de Tècniques Energètiques, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) ⁵ Observatorio Astronómico de la Universidad de Valencia. ⁶ Observatorio Astronómico Ramón María Aller. Universidade Santiago de Compostela

Introducción

La entrada de grandes meteoroides a la atmósfera terrestre viene anunciada por la aparición de las llamadas bolas de fuego o bólidos que, en ocasiones y sin previo aviso, surcan los cielos. El primer programa fotográfico realizado en todo el mundo se inició en 1951 en la antigua Checoslovaquia bajo el liderazgo del Dr. Znedek Ceplecha, auténtico pionero en esta área. Esta red, cuando estaba únicamente dotada de sólo dos estaciones fotográficas, registró el 7 de abril de 1959 un impresionante bólido de magnitud -19 (Ceplecha, 1961). Por primera vez en la historia se pudo reconstruir la trayectoria de un superbólido y delimitar con precisión a partir de ella la localización de los fragmentos supervivientes, denominados meteoritos. Este histórico meteorito fue llamado Pribram en referencia al pueblo checo donde se recuperaron un total de cuatro meteoritos con una masa de 5.8 kg (Tabla 1). Ceplecha también obtuvo la órbita en el sistema solar del meteoroides progenitor mediante el estudio de la velocidad y la deceleración del bólido. Este éxito sin precedentes motivó la ampliación de la red checa y el desarrollo de dos nuevas redes de registro de bólidos en América. La primera surgió en los Estados Unidos bajo el nombre de *Prairie Camera Network* dirigida por el Smithsonian Astrophysical Observatory. Las múltiples cámaras ubicadas en sus 16 estaciones cubrían un área de un millón de km^2 , manteniéndose activa toda una década entre 1964 y 1974. La segunda surgió en Canadá bajo la denominación de *Canadian Meteorite Observation and Recovery Project Network*. Dotada de doce estaciones que cubrían unos 700.000 km^2 se mantuvo operativa entre 1971 y 1985 (Halliday et al., 1996). Como resultado de este enorme esfuerzo de un seguimiento continuo, ambas redes pudieron determinar las órbitas de cientos de grandes meteoroides, aunque sólo pudieron recuperar dos meteoritos: Lost City e Innisfree respectivamente (McCrosky et al., 1971; Halliday et al., 1978). El único proyecto que desde entonces se ha

mantenido operativo de forma continua ha sido la *European Fireball Network* que aparece como una extensión centroeuropea de la red checa y que actualmente cubre un área de cerca de un millón de km^2 en varios países centroeuropeos. Esta red recuperó en el año 2002 el meteorito Neuschwanstein (Spurný et al., 2003).



Figura 1 — La naturaleza compacta y ligera de la cámara CCD de todo el cielo aquí descrita permite su fácil instalación en una gran variedad de emplazamientos, como la situada originalmente en noviembre de 2002 en la estación astronómica donde se ubican los telescopios robóticos del Proyecto BOOTES en el Centro de Experimentación del Arenosillo del INTA.

Uno de los principales problemas de las redes fotográficas es que requieren un procesado continuo de las placas, con el consiguiente tiempo invertido en el revelado y reducción científica de las observaciones. La fotografía también posee una sensibilidad limitada y no puede ser realizada bajo todo

tipo de condiciones de nubosidad. Por el contrario, la aplicación de las cámaras CCD de gran formato al registro de todo el cielo tiene grandes ventajas. Por ejemplo, se puede realizar un estudio continuo del firmamento incluso bajo cielos parcialmente nublados y su eficiencia cuántica es muy superior a la de la fotografía convencional lo que le permite detectar meteoros y bólidos a grandes distancias. Así pues, aunque el seguimiento continuado del firmamento para el registro de bólidos no es una idea nueva, sí que lo es emplear la extraordinaria sensibilidad de las cámaras CCD para realizar esta labor. Con esas premisas, desde el año 2002 se trabajó al abrigo del proyecto BOOTES (conjuntamente entre el INTA y el CSIC) en el desarrollo de un primer prototipo con tecnología CCD capaz de registrar todo el cielo y aplicarlo simultáneamente al estudio de bólidos y a la detección de fenómenos celestes transitorios que requieren monitorización completa del cielo: explosiones cósmicas de rayos gamma (GRBs), novas, estrellas *a-flare*, etc... En este artículo presentamos algunos de los avances obtenidos en la aplicación de este nuevo e innovador instrumento al estudio de la materia interplanetaria y, a su vez, invitamos a otros grupos a participar en este proyecto.

Un vigía del firmamento con múltiples aplicaciones

El instrumento desarrollado consiste en un detector CCD de 4096×4096 píxeles que incorpora un objetivo gran angular (siendo un “ojo de pez” el más idóneo). Este sistema es capaz de tomar imágenes continuas de todo el cielo en intervalos prefijados (usualmente entre 30 y 45 s para conseguir imágenes estelares puntuales) y es descrito en detalle en Castro-Tirado et al. (2005). Las grandes posibilidades de este instrumento para registrar bólidos y estudiar lluvias de meteoros aparece descrita en Trigo-Rodríguez et al. (2005). La gran eficiencia del detector para registrar bólidos incluso a grandes distancias quedó ejemplificada cuando nuestro primer prototipo en la estación BOOTES-1 en Huelva registró el 27 de enero de 2003 el superbólido de Nador, situado a más de 400 km de distancia. A raíz de ese resultado nuestro equipo está actualmente proyectando nuevas estaciones para un registro continuado del cielo en Andalucía, Cataluña, la Comunidad Valenciana y Galicia. Sería nuestro deseo que otros grupos españoles apoyasen la iniciativa y contactasen con nosotros para ubicar estas cámaras en observatorios y centros de investigación. Dada la naturale-

za del detector y la corta exposición requerida es posible ubicarlas incluso en lugares medianamente iluminados. Además, el hecho que sean cámaras compactas y de reducidas dimensiones facilita su instalación y permite que puedan pasar desapercibidas (figura 1). Cabe destacar que la necesaria triangulación y sincronía del trabajo de monitorización del cielo requiere un esfuerzo conjunto que, como mencionamos anteriormente, además es aplicable a otros campos de investigación en los que se requiere un registro continuo del firmamento. Con el establecimiento de la estación BOOTES-2 en Málaga en julio de 2004 está siendo posible monitorizar el cielo sobre Andalucía como demuestran los bólidos registrados en los últimos meses (figuras 2 y 3). Actualmente nuestro sistema de registro continuo, completamente informatizado, permite el acceso remoto a todas las imágenes obtenidas lo que proporciona una gran ventaja a la hora de poder recuperar meteoritos. Ello permite la detección de bólidos, el tratamiento y la reducción de las imágenes en tiempo récord. Como un ejemplo de este avance, podemos mencionar la determinación de la trayectoria del bólido Ceuta que se desintegró sobre el Mar Mediterráneo el 2 de junio de 2005 (véase figura 4).



Figura 2 — Bólido profundizando en la atmósfera sobre Almería el pasado 30 de julio de 2005 a las $0h03m15s \pm 15s$ TUC y registrado por la estación de BOOTES-2 en La Mayora (cortesía INTA-CSIC-Univ. Valencia).

Objetivos de la red española de investigación sobre bólidos y meteoritos

Desde 1997 la Red Española de Investigación sobre Bólidos y Meteoritos viene realizando tareas de registro continuado del cielo para registrar meteoros y bólidos. Hasta el año 2002 la mayoría de observaciones se realizaban empleando cámaras CCD o fotográficas e incrementando el número de estacio-

nes de registro gracias al apoyo de la comunidad amateur. A mediados del 2004 las primeras dos cámaras situadas en las estaciones de BOOTES-1 y BOOTES-2 en Huelva y Málaga han emprendido una monitorización continua de la atmósfera sobre Andalucía occidental lo que supone un hito por ser la primera red digital de alta resolución empleada para registrar la actividad meteórica.

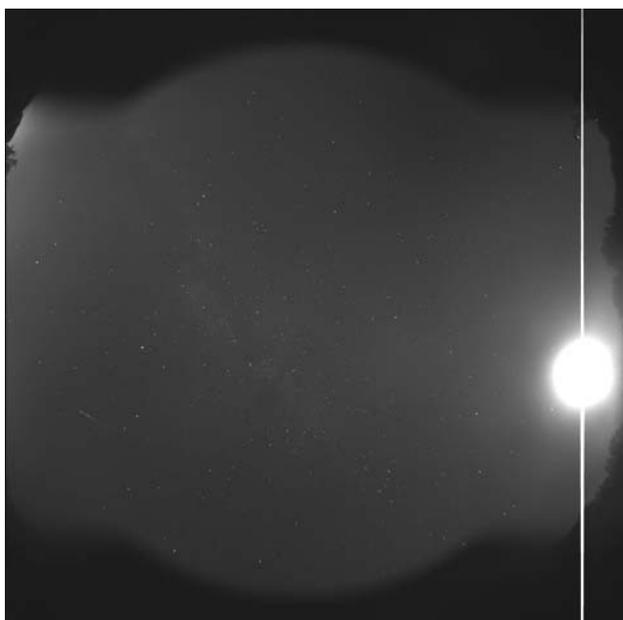


Figura 3 — *El registro continuo de todo el cielo hace que esta cámara pueda también emplearse como detector de nubes, incluso pese a la presencia de la Luna. Esta imagen muestra un bólido de las Perseidas sobre la cabeza del Dragón aparecido el 28 de julio de 2005 a las 1h39m15s±15s TUC.*

Por último cabe mencionar que el contacto entre los diferentes grupos involucrados en el marco común de la Red de Investigación sobre Bólidos y Meteoritos (www.spmn.uji.es) ha permitido crear una infraestructura que está proporcionando grandes progresos en este campo. Un ejemplo es el estudio de bólidos registrados en pleno día que requieren obtener la mayor información posible de fotografías y vídeos obtenidos por testigos casuales. En este sentido, el resultado más importante ha sido la recuperación por parte de nuestro equipo del meteorito Villalbeto de la Peña caído en este pueblo palentino el 4 de enero de 2004. El bólido, producido por un meteoróide de una masa inicial de 750 ± 150 kg, alcanzó magnitud -17 ± 1 siendo no sólo registrado en vídeo sino también por una estación sísmica y otra de infrasonidos, lo cual permitió estimar la energía depositada en la atmósfera (0.02 kilotones) por tres métodos independientes (Llorca et al., 2005). Además, las imágenes casua-

les del bólido desde varios lugares han permitido reconstruir por primera vez en España (y novena en el mundo) la trayectoria y órbita en el sistema solar del cuerpo progenitor del meteorito que indica su procedencia en el cinturón principal de asteroides (Trigo-Rodríguez et al., 2006).

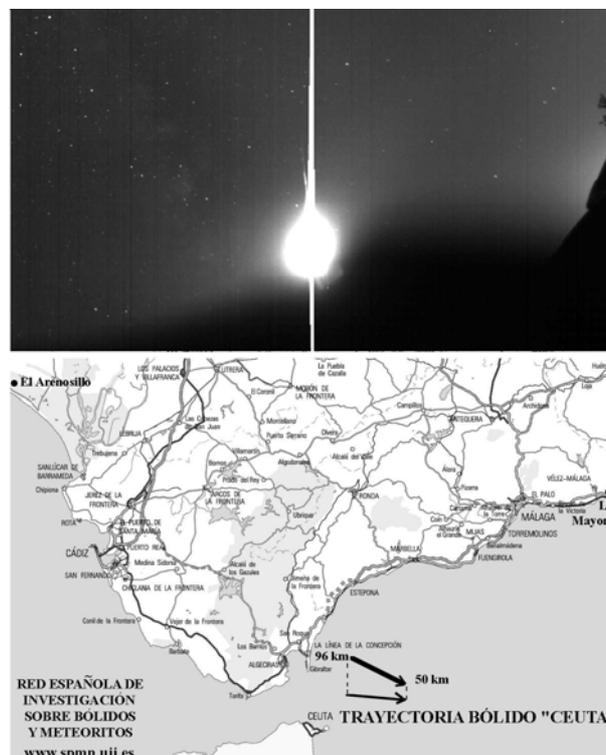


Figura 4 — *Arriba puede verse el superbólido ‘Ceuta’ registrado el 30 de junio de 2005 a las 02h21m22s±8s TUC desde la estación de La Mayora (imagen INTA-CSIC-Univ. Valencia). Abajo aparece la trayectoria proyectada sobre el suelo en base a las imágenes tomadas por sondas cámaras ubicadas en la Estación de Sondeos Atmosféricos del INTA en El Arenosillo (Huelva) y en la Estación Experimental de La Mayora del CSIC en Algarrobo (Málaga).*

Agradecimientos Queremos dejar constancia del apoyo continuado a este proyecto por parte del INTA, del CSIC y de la Universidad de Valencia, así como la labor realizada por M. Jelínek, S. Vítek, P. Kubánek, A. de Ugarte Postigo, T. J. Mateo Sanguino, J. A. Adame, M. Boa, N. Melida, T. Soria, R. Fernández, B. Troughton, F. Gálvez, B. de la Morena y J. Torres.

Referencias

Castro-Tirado A.J., Kubánek P., Jelínek M., de Ugarte Postigo A., Vítek S., Mateo Sanguino T.J., Trigo-Rodríguez J.M. 2005, "An all-sky CCD ca-

mera for continuous recording of the night sky down to 10th magnitude”, A&A, enviado.

Cepelcha Z. 1961, "Multiple fall of Pribram meteorites photographed", Bull. Astron. Inst. Czech. 12:21-47.

Halliday I., Blackwell A. T. & Griffin A. A. 1978. The Innisfree meteorite and the Canadian camera network. J. Roy. Astron. Soc. Canada. 72:15-39.

Halliday I., Griffin A.A. and Blackwell A. T. 1996. Detailed data for 259 fireballs from the Canadian camera network and inferences concerning the influx of large meteoroids. Meteoritics & Planetary Science 31:185-217.

Llorca J., Trigo-Rodríguez J.M., Ortiz J.L., Docobo J.A., García-Guinea J., Castro-Tirado A.J., Rubin A.E., Eugster O., Edwards W., Laubenstein M., and Casanova I. 2005, "The Villalbeto de la Peña meteorite fall: I. Fireball energy, meteorite recovery, trewn field and petrography", Meteoritics & Planetary Science 40, 795-804.

McCrosky R.E., Posen A., Schwartz G. & Shao C.-Y. 1971. Lost city meteorite: its recovery and a comparison with other fireballs. J. Geophys. Res. 76, pp.4090-4108.

Spurný P., Oberst J., Heinlein D. 2003, "Photographic observations of Neuschwanstein, a second meteorite from the orbit of the Pribram chondrite", Nature 423:151-153.

Trigo-Rodríguez J.M., Castro-Tirado A., Llorca J., Fabregat J., Martínez V.J., Reglero V., Jelínek M., Kubánek P., Mateo T., de Ugarte Postigo A. 2005, "The development of the Spanish Fireball Network using a new all-sky CCD system", Earth, Moon and Planets, publicado online.

Trigo-Rodríguez J.M., Borovicka J., Spurný P., Ortiz J.L., Docobo J.A., Castro-Tirado A.J., Llorca J. 2006, "The Villalbeto de la Peña meteorite fall: II. Determination of atmospheric trajectory and orbit", Meteoritics & Planetary Science, en prensa.

Nombre del meteorito	País	Año	Masa recuperada (kg)	Tipo de meteorito
Príbram	República Checa	1959	5.8	H5
Lost City	EUA	1970	17	H5
Innisfree	Canadá	1977	4.58	L5
Peekskill	USA	1992	12.57	H6
Tagish Lake	Canadá	2000	5-10	CI?
Morávka	República Checa	2000	1.4	H5-6
Neuschwanstein	Alemania	2002	6.2	EL6
Park Forest	EUA	2003	18	L5
Villalbeto de la Peña	España	2004	5	L6

Tabla 1 — Meteoritos recuperados cuya órbita heliocéntrica ha podido ser determinada hasta la fecha.