



La Red Española de Investigación sobre Bólidos y Meteoritos

Figura 1. Principales estaciones de detección de la SPMN. (Todas las imágenes son cortesía de los autores)

Los estudios de la [Red Española de Investigación sobre Bólidos y Meteoritos \(SPMN\)](#) aportan importantes claves sobre el origen y la evolución del Sistema Solar. En este artículo, miembros de la SPMN nos reseñan los objetivos, técnicas y últimos avances de esta Red.

INTRODUCCIÓN

Cada año impactan contra nuestro planeta más de 40 000 toneladas de fragmentos de roca, hielo y metal (Williams y Murad, 2002). Buena parte de esta materia interplanetaria que llega a la Tierra lo hace en forma de meteoroides, fragmentos con un diámetro inferior a 10 metros que en la mayoría de los casos proceden de asteroides y cometas. Cuando estos meteoroides se encuentran con nuestro planeta, impactan contra la atmósfera a velocidades comprendidas entre 11 y 73 km/s. En estas condiciones, el violento choque con las moléculas del aire provoca un súbito calentamiento de la superficie del meteoroide. Cuando ésta supera los 1500° C se inicia el denominado proceso de ablación, que consiste en la fusión y evaporación de parte del material, de forma

que éste se desprende del meteoroide y forma una columna de gas ionizado alrededor de la partícula. La temperatura en estas columnas suelen oscilar entre 4000 y 5000° C, mientras que en la parte frontal del meteoroide puede llegar hasta los 10 000° C (Trigo-Rodríguez *et al.*, 2003). Una importante fracción de las moléculas desprendidas del meteoroide y de las moléculas de aire que impactan con él queda en estado excitado o ionizado, emitiendo posteriormente luz al decaer nuevamente al estado fundamental o al intercambiar electrones con el medio circundante. De esta forma, una pequeña parte de la energía cinética inicial del meteoroide (por lo general, en torno al 1 %) se transforma en luz y calor, produciendo el fenómeno luminoso conocido como meteor o, vulgarmente, estrella fugaz. Cuando los meteoros poseen un brillo similar o superior al planeta Venus (magnitud -4) se denominan bólidos. Éstos son generados por partículas cuya masa oscila desde pocos gramos hasta miles de toneladas y, de hecho, en algunos casos notables pueden ser vistos incluso en pleno día, siendo entonces conocidos como superbólidos. Además, dependiendo de la geometría del impacto, los meteoroides con una masa superior a varias decenas de kilogramos pueden sobrevivir parcialmente a su brusco paso por la atmósfera, alcanzando entonces la superficie

Objetivos, técnicas y últimos avances

José M. Madiedo^{1,2}, Josep M. Trigo-Rodríguez³, Alberto J. Castro-Tirado⁴, José L. Ortiz⁴, Jaime Zamorano⁵, José Á. Docobo⁶, Jordi Llorca⁷, Jacinto Alonso-Azcárate⁸, Mar Tapia⁹, Juan Fabregat¹⁰, Jaime Izquierdo⁵, Francisco Ocaña⁵, Alejandro Sánchez de Miguel⁵, Pep Pujols¹¹, Sensi Pastor¹², José Antonio de los Reyes¹², Juan Lacruz¹³ y Diego Rodríguez¹⁴.

1. Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Huelva (UHU).

2. Facultad de Física, Universidad de Sevilla (US).

3. Instituto de Ciencias del Espacio (CSIC-IEEC).

4. Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC).

5. Universidad Complutense de Madrid (UCM).

6. Universidade de Santiago de Compostela (USC).

7. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

8. Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM).

9. Laboratori d'Estudis Geofísics Eduard Fontseré (LEGEF).

10. Universidad de Valencia (UV).

11. Grup d'Estudis Astronòmics (GEA) y Agrupació Astronòmica d'Osona.

12. Observatorio Astronómico de La Murta, Murcia.

13. Observatorio de La Cañada, Ávila.

14. Observatorio Guadarrama, Madrid.

terrestre en forma de meteoritos (Trigo-Rodríguez, 2012). En ocasiones estos fenómenos pueden ir acompañados de fenómenos audibles detectables por redes sísmicas o infrasónicas, como fue el caso de Villalbeto de la Peña, caído en Palencia en 2004 (Llorca *et al.*, 2005; Trigo-Rodríguez *et al.*, 2006), o el de Puerto Lápice, que cayó en Castilla-La Mancha en 2006 (Trigo-Rodríguez *et al.*, 2009).

La Red Española de Investigación sobre Bóolidos y Meteoritos (en inglés «Spanish Photographic Meteor Network» o, abreviadamente, SPMN) se creó en el año 1997 y está formada por investigadores de distintas universidades y centros de investigación que abordan el estudio del fenómeno meteórico desde un punto de vista interdisciplinar. También contamos con la colaboración de astrónomos amateur. En la actualidad, y gracias al enorme esfuerzo realizado en los últimos años para llevar a cabo la implantación de nuevas estaciones de registro, nuestros sistemas son capaces de monitorizar la actividad meteórica sobre la totalidad de la Península Ibérica, así como en áreas limítrofes. De hecho, contamos con veinticinco de estas estaciones de observación, desde las cuales operan equipos que utilizan diferentes técnicas de detección. Los datos obtenidos permiten conocer las órbitas que seguían los meteoroides en el Sistema Solar antes de impactar con la Tierra, lo cual nos

permite a su vez conocer qué asteroides o cometas son los cuerpos progenitores de estas partículas. También podemos obtener parámetros tales como la masa de los meteoroides y su consistencia, así como determinar qué trayectoria han seguido en la atmósfera terrestre. Gracias a esto podemos inferir en qué casos parte de estos materiales han conseguido sobrevivir a su brusco paso por la atmósfera y calcular el correspondiente punto de caída de los meteoritos producidos, de manera que se pueda proceder a su recuperación y análisis. Pero incluso si el meteoroides no ha conseguido sobrevivir, podemos conocer su composición química aplicando técnicas espectroscópicas. En este trabajo se describen las principales técnicas de registro que la SPMN utiliza en la actualidad, presentando algunos de los resultados obtenidos.

DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE DETECCIÓN

Nuestros sistemas de observación se basan en utilizar la atmósfera terrestre como si fuese un detector enorme. Esto es posible gracias a que la formación de iones y la generación de luz que se producen como consecuencia del proceso de ablación nos indican cuándo y dónde tiene lugar la entrada de estos objetos. Puesto que estos fenómenos pueden tener lugar



Figura 2. Izquierda) La cámara de todo el cielo CASANDRA-1 en la Estación BOOTES-1 en la Estación de Sondeos Atmosféricos del Centro de Experimentación de El Arenosillo del INTA en Huelva. Derecha) A modo de ejemplo, imagen del cielo austral obtenida con otra cámara similar (CASANDRA-3) en el Observatorio Robótico BOOTES-3 en Blenheim (Nueva Zelanda) mostrando dos meteoros en una imagen de 40 segundos de tiempo de integración, revelando el potencial de dicho instrumento.

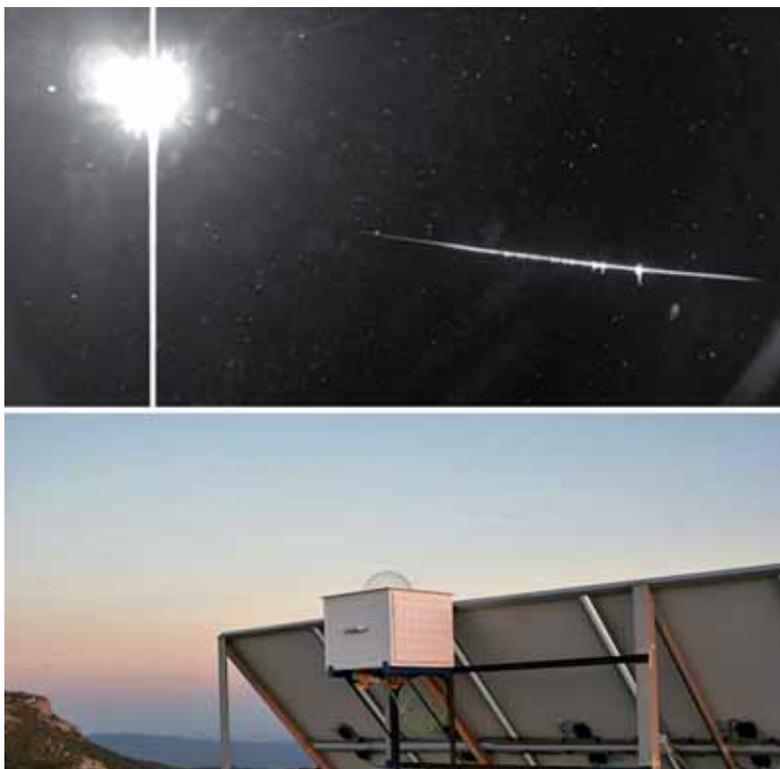


Figura 3. (Arriba) Imagen de un bólido registrado el 31 de enero de 2012 a las 20h58m35,1±0,1s UTC por la cámara de todo el cielo instalada en el Observatorio Astronómico del Montsec (OAdM, IECC-CSIC). La Luna aparece en la parte superior izquierda. El bólido, como puede verse, mostró múltiples fulguraciones a lo largo de su trayectoria (Trigo-Rodríguez *et al.*, 2012). Abajo) Ubicación de la cámara *all-sky* del Montsec en un sistema estanco capaz de operar bajo condiciones extremas.

en cualquier momento, es fundamental llevar a cabo una monitorización de manera continua. Además, con el fin de poder abarcar un volumen atmosférico lo más grande posible, es necesario instalar estos equipos en

distintas ubicaciones. De hecho, para la determinación de radiantés, trayectorias atmosféricas y parámetros orbitales se requiere que los meteoros sean registrados simultáneamente desde, al menos, dos estaciones diferentes. Esto implica que los equipos deben trabajar también de forma coordinada.

La Figura 1 recoge la localización de las estaciones que nuestra red opera en la actualidad. Cada una de ellas tiene un radio de acción de unos 600 km, dependiendo de las condiciones atmosféricas. Algunas de ellas operan de forma totalmente autónoma gracias al software de control desarrollado por nuestra propia red. Este software, de hecho, nos ha permitido llevar a cabo la implantación de estaciones remotas. A continuación se describen los principales sistemas utilizados y se muestran algunos ejemplos.

► Cámaras CCD de cielo completo (*all-sky*)

Uno de nuestros sistemas de registro de meteoros y bólidos está basado en cámaras CCD de todo el cielo con un chip de 4096 x 4096 píxeles (Figura 2). Este tipo de dispositivo fue desarrollado por un equipo dirigido por el Prof. Alberto J. Castro-Tirado en el marco de un proyecto del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) en el que participó el Dr. Josep M. Trigo (CSIC-IEEC). Esta cámara (Castro-Tirado *et al.*, 2008), bajo patente INTA-CSIC, ha sido revolucionaria en la detección de meteoros y bólidos, pues registra meteoros hasta magnitud +3 con una precisión astrométrica de 1 minuto de arco, suponiendo un gran avance con respecto a cámaras fotográficas de todo el cielo que solo registran bólidos (Trigo-Rodríguez *et al.*, 2004). El Dr. Josep M. Trigo desarrolló en el Instituto de Ciencias del Espacio (CSIC-IEEC) un sistema de determinación de velocidades meteóricas de gran precisión que ha sido patentado. Este tipo de dispositivos de cámaras de todo el cielo se encuentra instalado en nuestras estaciones de El Arenosillo (Huelva), La Mayora (Málaga) y en el Observatori Astronòmic del Montsec (Lleida). La Figura 3 muestra una de las imágenes de bólidos obtenida recientemente con la cámara de todo el cielo operada desde el Montsec.

► Sistemas CCD de videodetección

Los dispositivos CCD de alta sensibilidad trabajando en modo vídeo han supuesto un enorme empuje para nuestra red de investigación. Estas cámaras, entre las que se encuentran varios modelos fabricados por las compañías Watec y Mintron, permiten obtener secuencias de vídeo en tiempo real a la vez que consiguen alcanzar una magnitud límite de +4 con tiempos de exposición muy cortos (del orden de 0,02 segundos). El Prof. José María Madieto, de la Universidad de Huelva, fue pionero en la implantación de este tipo de sistemas, que

posteriormente han sido adoptados por otras universidades y centros de investigación a lo largo de toda la geografía española (Madiedo y Trigo-Rodríguez, 2008; Madiedo et al., 2010).

Las estaciones de detección basadas en esta tecnología utilizan una batería de estas cámaras CCD, cada una de las cuales monitoriza una porción del cielo. Cada cámara está conectada a un ordenador, que automáticamente graba en una secuencia de vídeo los meteoros registrados. Una vez que concluye la sesión de observación, estos archivos de vídeo son enviados a un servidor central gestionado por nuestra red de investigación, y en el que se cotejan estos datos para determinar qué eventos han sido registrados de manera simultánea por, al menos, dos estaciones diferentes.

Aunque la mayoría de estas estaciones son fijas (Figura 4), el diseño de algunos de los sistemas se ha realizado de manera que puedan ser fácilmente transportables, lo cual permite establecer puntos móviles de registro. Un ejemplo de esto último lo constituye la estación de Cerro Negro, que el Prof. José María Madiedo opera desde 2006 en la provin-



Figura 4. A la izquierda de la imagen, ubicación de la estación automática de detección de meteoros del Observatorio de Sierra Nevada, operada por la Universidad de Huelva y el Instituto de Astrofísica de Andalucía. A la derecha se muestra el sistema de control de los dispositivos CCD de vídeo que operan desde esta estación.



Figura 5. Bólide esporádico de magnitud -6 registrado el 11 de marzo de 2012, a las 3h04m58,5±0,1s UTC, desde la estación situada en el Observatorio de Sierra Nevada (UHU e IAA-CSIC).

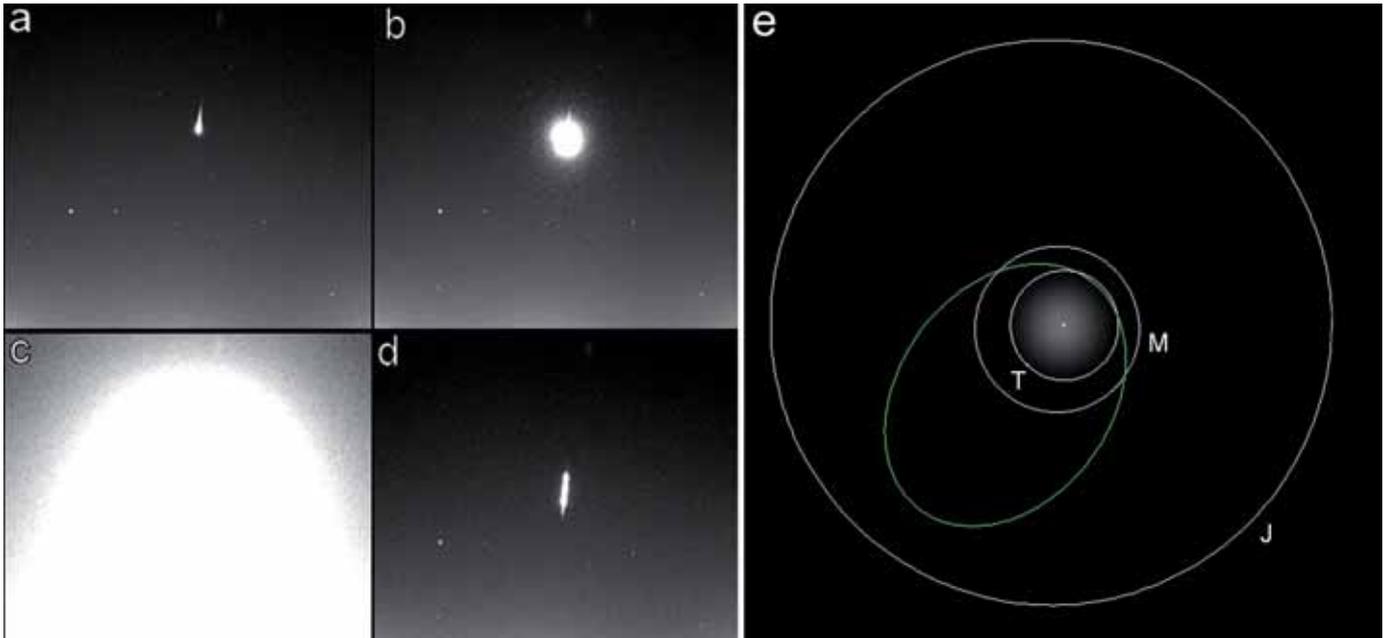


Figura 6. Impresionante bólido de las Boëtidas de junio registrado desde las estaciones Sevilla (UHU) y El Arenosillo (UHU e IAA-CSIC) el 4 de julio de 2010, a las 23h16m01,9±0,1s UTC. Alcanzó una magnitud de -14 y fue producido por un meteoroido de 257 kg desprendido del cometa 7P/Pons-Winnecke. a) y b) muestran los instantes iniciales de la fase luminosa del bólido; c) fulguración final; d) estela persistente; e) órbita del meteoroido en el Sistema Solar (J. M. Madiedo *et al.*, 2012).

cia de Sevilla. Algunos de los resultados obtenidos con estas cámaras se muestran en las Figuras 5 a 7.

Mediante el uso de cámaras CCD de vídeo de menor sensibilidad, es posible también llevar a cabo una monitorización del cielo diurno. En este caso, lógicamente, solo se pueden detectar bólidos muy brillantes. No obstante, puesto que son precisamente éstos los que pueden dar lugar a meteoritos,

la implantación de estaciones de observación diurna es clave de cara a la posible recuperación de estos fragmentos. En la actualidad la red opera tres de estos sistemas desde Andalucía, concretamente desde las provincias de Huelva, Sevilla y Granada, así como uno en Murcia. Un ejemplo de bólido diurno se encuentra en la Figura 8.

► Espectroscopia de meteoros

Uno de nuestros objetivos es conocer la composición química de los meteoroides que impactan contra nuestro planeta. Esto podemos hacerlo mediante el análisis de la energía lumínica que se desprende cuando estas partículas se desintegran en la atmósfera. De esta forma, el uso de sistemas dispersores como prismas o redes de difracción acoplados a nuestras cámaras permite descomponer esta luz y obtener el espectro de emisión. El software desarrollado por el Prof. José María Madiedo permite analizar estos espectros, determinando la temperatura y densidad electrónica del plasma meteórico, así como la abundancia de los elementos químicos que forman parte del meteoroido. Esto, a su vez, nos proporciona una información muy útil sobre la naturaleza de los cuerpos progenitores de los que éstos proceden. Nuestras cámaras permiten registrar el espectro de emisión de bólidos cuyo brillo es superior a una magnitud de -4 o -5. Con las cámaras de vídeo puede, además, observarse cómo dicho espectro va evolucionando durante la descomposición del meteoroido, permitiendo así estudiar un fenómeno conocido como ablación diferencial. La Figura 9 muestra el espectro de emisión de un bólido registrado desde Sierra Nevada el 21 de marzo de 2011. El análisis

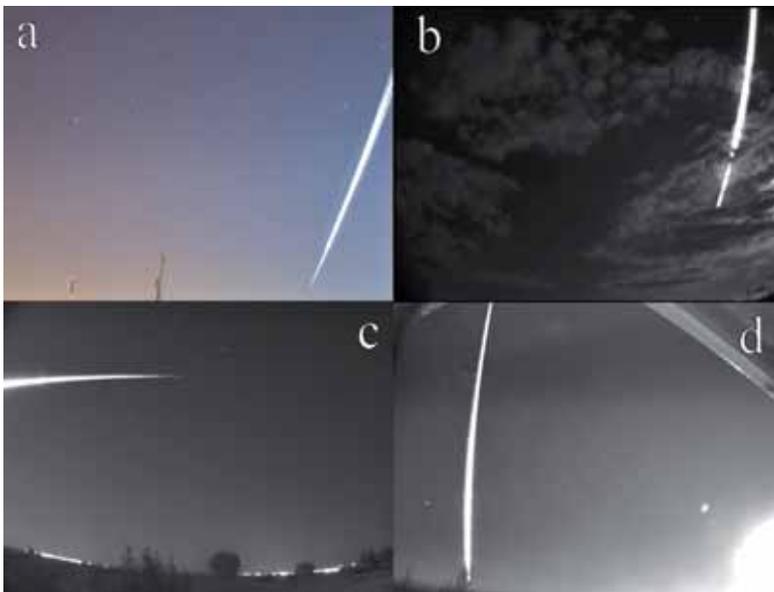


Figura 7. Bólido de magnitud -7 y de origen esporádico registrado el 17 de abril de 2011, a las 22h11m32,2±0,1s UTC, desde las estaciones de a) Madrid (UCM); b) Toledo (UCLM), c) La Hita (UHU) y d) Ávila (Observatorio de La Cañada). La fase luminosa se inició a unos 85 km de altura, terminando a unos 35 km sobre el nivel del suelo. El meteoroido que generó el bólido impactó contra la atmósfera con una velocidad de 19,5 km/s.

de este evento determinó que este bólido produjo un meteorito, si bien la roca cayó en el Mar Mediterráneo, lo cual imposibilitó su recuperación. La señal obtenida por el espectrógrafo, sin embargo, nos permitió obtener información sobre su composición química.

► Sistemas de radiodetección

Los equipos descritos anteriormente utilizan la luz desprendida por el meteoro para llevar a cabo su identificación. La radiodetección, sin embargo, se basa en aprovechar el hecho de que la cola iónica generada durante la ablación de los meteoroides puede reflejar ondas electromagnéticas de determinadas frecuencias. Entre éstas se encuentran las utilizadas para transmitir señales de radio y de televisión. Esta técnica presenta la ventaja de poder llevar a cabo un registro de la actividad meteórica tanto durante el día como durante la noche y con independencia de que se produzcan condiciones meteorológicas adversas.

Aunque los radiodetectores pueden operar según diferentes principios, uno de los más comunes (denominado *forward-scatter* en inglés) consiste en monitorizar la señal procedente de una estación de radio o de televisión lejana. Se elige un emisor que esté lo suficientemente alejado del receptor como para que la curvatura terrestre impida que esta señal pueda llegar directamente al detector. Solo cuando un meteoro aparece en la atmósfera superior, sobre la vertical de algún punto intermedio entre ambos, la señal procedente del emisor rebota sobre la correspondiente cola iónica y llega al receptor, recogiendo entonces un eco audible. La cola de iones va desvaneciéndose como consecuencia de varios procesos (difusión de los iones en la atmósfera, deformación de dicha cola por el movimiento de masas de aire, recombinación de electrones con iones positivos, etc.), por lo que la intensidad de la señal reflejada disminuye con el tiempo. Así, nos podemos encontrar con ecos que pueden durar desde una fracción de segundo hasta incluso más de un minuto en el caso de superbólid. Desafortunadamente, la entrada en funcionamiento en los últimos años de la Televisión Digital Terrestre (TDT) en muchos países de Europa ha supuesto una importante limitación a la hora de utilizar esta técnica, pues los emisores remotos disponibles son ahora muy escasos. Aún así, nuestra red utiliza en la actualidad dos de estos sistemas de radiodetección basados en la técnica del *forward-scatter*. Uno de ellos, el primero que instaló la SPMN en nuestro país, lo opera la Universidad de Huelva desde Sevilla y está basado en un sistema computerizado que puede utilizar dos antenas de distinta ganancia. Fue implantado en Sevilla en 2006 por el Prof. José María Madiedo, quien desarrolló también el software de control y análisis. El otro sistema opera desde el Observatorio Guadarrama, en Madrid.

► Detección de meteoros en estaciones sísmicas e infrasónicas

La detección de meteoros en señales sísmicas e infrasónicas es posible por la generación de infra-



Figura 8. Bólido esporádico de magnitud -10 registrado el 21 de noviembre de 2010, a las 6h31m18,4±0,1s UTC, por una cámara CCD de observación diurna ubicada en el Observatorio Astronómico de La Murta (Murcia).

sonidos producida en su interacción con la atmósfera. La entrada del meteoro en la atmósfera debido a la fricción y las altas velocidades que lleva crea ondas de choque. Estas se degradan rápidamente a ondas de tipo infrasónico que pueden ser detectadas en la superficie del planeta. Estas ondas incluso pueden llegar a acoplarse con el suelo y crear ondas de otro tipo, como ondas sísmicas que viajarán por el subsuelo. El infrasonido es un tipo de onda que recorre largas distancias con muy poca pérdida de energía, en cambio la onda sísmica se atenúa muy rápido.

En este caso, los registros infrasónicos (diferencias de presión) y sísmicos (movimiento del suelo) sensibles de contener información relativa

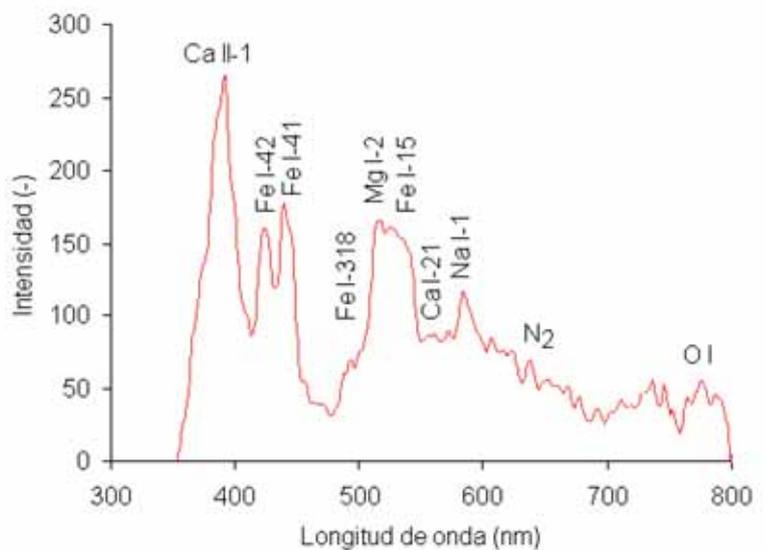


Figura 9. Espectro de emisión producido por un bólido productor de meteoritos registrado desde Sierra Nevada el 21 de marzo de 2011, a las 20h42m07,3±0,1s UTC. La intensidad de la señal está expresada en unidades arbitrarias.

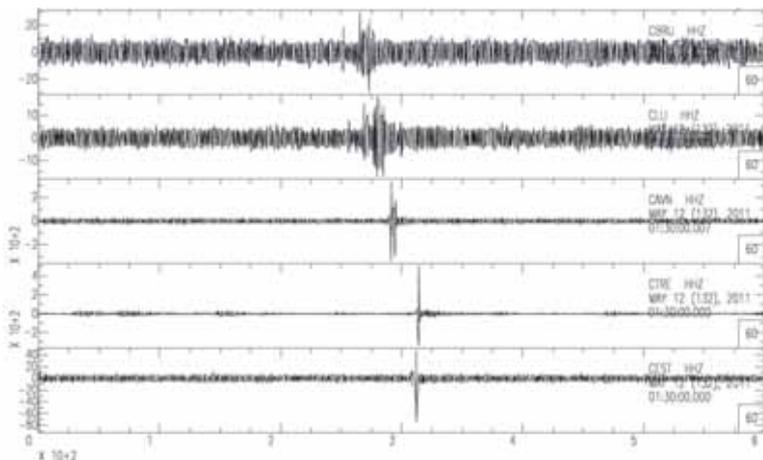


Figura 10. Señales sísmicas pertenecientes a estaciones sísmicas de la red del Instituto Geológico de Cataluña (IGC) asociadas a un bólido ocurrido el pasado 12 de mayo de 2011 (Tapia y Trigo, 2012).



Figura 11. Imagen tomada durante la exposición *Ventana a la Ciencia: Meteoritos*, celebrada en el Parque de las Ciencias de Granada en 2009.

a un meteorito se obtienen a través de los organismos propietarios de redes de estaciones sísmicas e infrasónicas para poderlos estudiar. Estos datos se someten a distintos procesados para conseguir limpiar estos registros y poder extraer información. Estudiando las características de las ondas registradas se pueden deducir características del meteorito que las ha originado, como por ejemplo su energía, dónde ha ocurrido el fenómeno o localizarlo como si de un terremoto se tratara. En la Figura 10 podemos observar señales sísmicas detectadas en la Península debidas a un bólido.

DIVULGACIÓN

Desde la SPMN llevamos a cabo una importante labor de divulgación. De esta forma, a través de diferentes actividades (conferencias, libros, exposiciones, etc.), damos a conocer los resultados de nuestra investigación, así como diferentes aspectos relacionados con meteoros y meteoritos.

Uno de los recursos más importantes con los que cuenta la Red es la colección de meteoritos del Prof. José María Madiedo, que se compone de más de ochocientas piezas entre las que se encuentran incluso varios meteoritos procedentes de la Luna y de Marte, así como un buen número de rocas que se formaron en el asteroide Vesta. Se trata, de hecho, de la mayor colección privada de meteoritos de España. Una parte de esta colección se ha expuesto desde el año 2007 en distintos lugares del país en colaboración con universidades, museos y otras instituciones (Figura 11). Asimismo, con el fin de acercar estas rocas al mayor número de personas posible, el Prof. Madiedo ha creado el Museo Virtual de Meteoritos, que puede visitarse en la dirección web www.museodemeteoritos.es.

Cabe destacar también la reciente publicación de dos obras del Dr. Josep M. Trigo tituladas *Las raíces cósmicas de la vida* y *Meteoritos* que proporcionan una visión rigurosa y actualizada de estos campos relacionados con la aportación de la materia interplanetaria a la Tierra, su papel en la acreción de la Tierra y los demás planetas e incluso su posible papel clave en el enriquecimiento químico de la Tierra durante la fase final de acreción denominada Gran Bombardeo Tardío que se produjo entre 3900 y 3800 millones de años atrás.

Otro de los recursos con los que damos a conocer los resultados de nuestra investigación es nuestra página web: www.spmn.uji.es. En ella mantenemos, por ejemplo, un listado de grandes bólidos registrados por nuestros sistemas. Además, mediante un formulario *online*, los testigos de grandes bólidos pueden contactar con nosotros para enviarnos información que pueda ayudarnos a la hora de reconstruir estos eventos. Asimismo, los interesados también pueden comunicarse con nosotros mediante la dirección de correo electrónico spmn@ieec.uab.es. **A**



Composición a partir de distintas imágenes de la tormenta de las Leónidas de 1999. (Cortesía Juan Carlos Casado, starryearth.com)

Referencias:

- Castro-Tirado, A. J., Jelínek, M., Vítek, S., Kubánek, P., Trigo-Rodríguez, J.-M., de Ugarte Postigo, A., Mateo Sanguino, T. J. y Gomboš, I. (2008). «A very sensitive all-sky CCD camera for continuous recording of the night sky», en *Advanced Software and Control for Astronomy II*. Editado por Bridger, A. y Radziwill, N. M. *Proceedings of the SPIE*, vol. 7019, pp. 70191V-70191V-9.
- Llorca, J., Trigo-Rodríguez, J. M., Ortiz, J. L., Docobo, J. Á., García-Guinea, J., Castro-Tirado, A. J., Rubin, A. E., Eugster, O., Edwards, W., Laubenstein, E. y Casanova, I. (2005). «The Villalbeto de la Peña meteorite fall: I. Fireball energy, meteorite recovery, strewn field and petrography», *Meteoritics & Planetary Science* 40, 795-804.
- Madiedo, J. M. y Trigo-Rodríguez, J. M. (2008). «Multi-station Video Orbits of Minor Meteor Showers», *Moon, Earth and Planets*, vol. 102, issue 1-4, pp. 133-139.
- Madiedo, J. M., Trigo-Rodríguez, J. M., Ortiz, J. L. y Morales, N. (2010). «Robotic Systems for Meteor Observing and Moon Impact Flashes Detection in Spain», *Advances In Astronomy*, doi 10.1155/2010/167494.
- Madiedo, J. M., Trigo-Rodríguez, J. M., Konovalova, N., Ortiz, J. L., Cabrera, J. y Toscano, F. M. (2012). «Large meteoroids produced by comet 7P/Pons-Winnecke», *EPSC Abstracts*, vol. 7, EPSC2012-68-1. European Planetary Science Congress 2012.
- Tapia, M. y Trigo-Rodríguez, J. M. (2012). «Using seismic data to detect and study bolides: the case study of May 11th, 2011 bolide», *EPSC Abstracts*, vol. 7, EPSC2012-443-1. European Planetary Science Congress 2012.
- Trigo-Rodríguez, J. M., Borovička, J., Spurný, P., Ortiz, J. L., Docobo, J. Á., Castro-Tirado, A. J., y Llorca, J. (2006). «The Villalbeto de la Peña meteorite fall: II. Determination of the atmospheric trajectory and orbit», *Meteoritics & Planetary Science* 41, 505-517.
- Trigo-Rodríguez, J. M., Borovička, J., Llorca, J., Madiedo, J. M., Zamorano, J. e Izquierdo, J. (2009). «Puerto Lápice eucrite fall: Strewn field, physical description, probable fireball trajectory, and orbit», *Meteoritics & Planetary Science*, vol. 44, issue 2, pp.175-186.
- Trigo-Rodríguez, J. M., Dergham, J., Ribó, S., Latorre, M., Colomé, J. y Pujols, P. (2012). «A meteorite dropping bolide recorded over Catalonia by OAdM all-sky camera on 2012 January 31», European Planetary Science Congress, abstract #883.
- Trigo-Rodríguez, J. M. (2012b). *Las raíces cósmicas de la vida*, Ediciones UAB, Barcelona.
- Trigo-Rodríguez, J. M. (2012c). *Meteoritos*, Editorial Catarata-CSIC.
- Williams, I. P. y Murad, E. (2002). *Meteors in the Earth's atmosphere*. Cambridge University Press, New York.