

Impactos de meteoroides en la Luna

José María Madiedo

Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Huelva, 21071, Huelva,
España
Email: madiedo@uhu.es
Web: <http://www.meteoroides.net>



Madiedo, J.M. (2010). Impactos de meteoroides en la Luna. *In*: Ginard, A., Pons, G.X. i Vicens, D. (eds.). Història i Ciència: commemoració dels 40 anys de l'arribada de l'home a la Lluna. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 16; 109-118. SHNB - OAM - UIB. ISBN 978-84-15081-49-4.

Resumen: Cada año, millones de partículas sólidas, llamadas meteoroides, impactan con la atmósfera de la Tierra; algunas se desintegran con el impacto, en cambio otras llegan a chocar contra la Tierra. En el año 2006, la Universidad de Huelva (UHU) implantó los primeros equipos de detección de meteoroides en la atmósfera terrestre y más tarde, también implantó un sistema automático para llevar a cabo la detección de impactos de meteoroides en la superficie de la Luna. Los meteoroides, como en la Tierra, impactan continuamente sobre la Luna, pero a diferencia de la Tierra, al carecer de atmósfera, hasta las partículas más pequeñas logran llegar a su superficie. La detección de meteoroides que impactan sobre la Luna permite obtener información adicional sobre el flujo de materia interplanetaria que impacta con nuestro planeta. Además, desde la Tierra es posible monitorizar una región mucho mayor (la superficie lunar) que la que se puede abarcar con los sistemas que se basan en la detección de meteoroides en la atmósfera terrestre. La UHU y el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) colaboran en el proyecto MIDAS (*Moon Impacts Detection and Analysis System* - Sistema de Detección y Análisis de Impactos Lunares) para llevar a cabo una monitorización continua de la región no iluminada de la Luna con el fin de detectar estos impactos.

Abstract: Each year, millions of solid particles, called meteoroids, strike the Earth's atmosphere, some disintegrate on impact, however others arrive to crash into Earth. In 2006, the University of Huelva (UHU) introduced the first teams to detect meteoroids in Earth's atmosphere and later also implemented a system to perform automatic detection of meteoroid impacts on the surface of the moon. Meteoroids, as on Earth, continuously impacting on the Moon, but unlike Earth, lacking atmosphere, until the smallest particles make it to the surface. The detection of meteoroids impacting the Moon allows additional information on the flow of interplanetary matter that impacts on our planet. In addition, since the Earth is possible to monitor a much larger region (the lunar surface) than can be accommodated with systems based on the detection of meteoroids in the atmosphere. The UHU and the Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) are collaborated on the project MIDAS (*Moon Impacts Detection and Analysis*

System) to carry out continuous monitoring of the illuminated region Moon in order to detect these impacts.

Resum: Cada any, milions de partícules sòlides, anomenades meteoroides, impacten amb l'atmosfera de la Terra; algunes es desintegren amb l'impacte, però en canvi altres arriben a xocar contra la Terra. A l'any 2006, la Universitat de Huelva (UHU) va implantar els primers equips de detecció de meteoroides en l'atmosfera terrestre i més endavant, també va implantar un sistema automàtic per a la detecció d'impactes de meteoroides en la superfície de la Lluna. Els meteoroides, com a la Terra, impacten contínuament sobre la Lluna, però a diferència de la Terra, la manca d'atmosfera permet fins i tot a les partícules més petites poder arribar a la superfície. La detecció de meteoroides que impacten sobre la Lluna permet obtenir informació addicional sobre el flux de matèria interplanetària que impacta amb el nostre planeta. A més, des de la Terra es possible monitoritzar una regió molt més gran (la superfície lunar) que la que es pot abraçar amb els sistemes basats en la detecció de meteoroides en l'atmosfera terrestre. La UHU i l'Institut d'Astrofísica d'Andalusia (IAA-CSIC) col·laboren en el projecte MIDAS (*Moon Impacts Detection and Analysis System* - Sistema de Detecció i Anàlisi d'Impactes Lunars) per a realitzar una monitorització contínua de la regió no il·luminada de la Lluna amb la finalitat de detectar aquests impactes.

Introducción

Se estima que cada año llegan a nuestro planeta entre 40 000 y 80 000 toneladas de partículas sólidas. Éstas, que reciben el nombre de meteoroides, son en su mayoría fragmentos desprendidos de asteroides y cometas que orbitan alrededor del Sol y que, al cruzarse con la órbita de la Tierra, impactan con nuestra atmósfera a velocidades comprendidas entre 20 y 72 km/s. En estas condiciones el rozamiento que se produce con el aire eleva bruscamente la temperatura del meteoroides, de forma que tanto las moléculas que forman parte del sólido como las moléculas del aire que chocan contra él emiten energía, observándose entonces una estela luminosa que recibe el nombre de meteoro. En ocasiones, si el meteoroides es lo suficientemente grande y consigue sobrevivir a su paso por la atmósfera, éste impacta con la Tierra en forma de meteorito.

En torno al 20% de estos meteoroides tienen masas que oscilan entre los 10^{-5} y 10^{-6} gramos, mientras que el 80% restante se encuentra entre los 10^{-6} y 10^{-15} gramos. No obstante, incluso en el caso de las partículas más pequeñas, las elevadas velocidades de entrada hacen que sus impactos con la atmósfera sean muy violentos, de manera que la fricción con el aire provoca que se alcancen temperaturas de varios miles de grados centígrados. Esto desencadena toda una serie de procesos físicos y químicos en las capas más externas de la atmósfera, generalmente entre los 80 y los 100 km de altura. El análisis y estudio multidisciplinar de estos procesos tiene una gran importancia tanto a nivel tecnológico como desde el punto de vista científico, constituyendo un área muy activa dentro de las Ciencias del Espacio. Así, por ejemplo, estas partículas juegan un papel fundamental de cara a la seguridad de las misiones espaciales y de la operatividad de los satélites artificiales. También proporcionan valiosas claves sobre los mecanismos químicos que pudieron conducir a la aparición de la vida en nuestro planeta, dado que se piensa que los meteoroides pudieron aportar algunas de las moléculas necesarias para que ésta pudiese surgir. De hecho, en algunos meteoritos (en condritas carbonáceas concretamente) se han encontrado multitud de moléculas orgánicas. Entre ellas se encuentran incluso aminoácidos. Por otra parte, el análisis de los meteoroides también permite establecer qué condiciones fisicoquímicas existían en la nube de material (la denominada nebulosa primitiva) a partir de la cual se formó nuestro Sistema Solar, facilitando así la comprensión de los procesos que tuvieron lugar en las primeras fases de su evolución. Además, otra razón

importante para el estudio de los meteoroides es que estas partículas proporcionan información directa sobre la composición y naturaleza de los cuerpos de los que proceden. En muchos casos estos análisis pueden efectuarse mediante sistemas situados en tierra, sin necesidad de emplear, por tanto, equipos mucho más costosos a bordo de sondas espaciales.



Figura 1: Principales estaciones de la Red Española de Investigación sobre Bóolidos y Meteoritos (SPMN). Desde ellas se detecta de forma automática cómo los meteoroides interactúan con la atmósfera terrestre. Los círculos dan una idea aproximada del radio de detección de algunas de estas estaciones.

Figure 1: Main stations of the Spanish Network for Research on Meteor and Fireball (MPS). Since the automatically detects how meteoroids interact with the atmosphere. The circles give a rough idea of radio detection of some of these stations.

Los sistemas que opera la UHU para llevar a cabo el estudio de meteoroides, meteoros y meteoritos se centran principalmente en los siguientes objetivos:

- Detectar los meteoroides que impactan con la atmósfera terrestre, determinando su trayectoria, su órbita y de qué cuerpos de nuestro Sistema Solar proceden estas partículas de materia interplanetaria.
- Determinar la composición química y diversos parámetros físicos de los meteoroides.
- Obtener información acerca de cómo se difunden en la atmósfera terrestre las especies químicas que componen los meteoroides una vez que éstos se desintegran a su paso por la misma.

- En el caso de que estos objetos sobrevivan a su brusco paso por la atmósfera y lleguen al suelo en forma de meteoritos, recuperar esos meteoritos y proceder a su análisis.
- Extender estos sistemas de detección a lo largo de varios puntos de la geografía andaluza, de manera que el radio de acción de los mismos sea lo más amplio posible y, por tanto, se aumente su capacidad de detección y análisis.
- Automatizar los distintos equipos y sistemas, de forma que éstos puedan llevar a cabo por sí mismos tareas como el arranque, la parada y la adquisición de datos.

La implantación de los primeros equipos de detección operados por la UHU tuvo lugar en el año 2006. La UHU es, de hecho, pionera en la implantación y desarrollo de sistemas de videodetección de meteoroides en España. Desde entonces se han conseguido grandes progresos que han permitido ir abarcando estos objetivos, estableciéndose contactos y colaboraciones con diversas universidades y centros de investigación.

En estos momentos la UHU dispone de sistemas automáticos que operan desde varios puntos de Andalucía Occidental y que permiten monitorizar el espacio aéreo en un radio de unos 400 a 600 kilómetros, dependiendo del estado de la atmósfera. Gracias a esto y al trabajo llevado a cabo de forma coordinada con otros dispositivos situados en otros lugares de España (Fig. 1), se han podido obtener resultados de gran relevancia científica en el marco de la Red Española de Investigación sobre Bóolidos y Meteoritos (SPMN).



Figura 2: Imágenes de la sala de control y de algunas de las cámaras CCD de vídeo de alta sensibilidad operadas por la UHU desde el Parque Natural de Doñana para llevar a cabo la detección de meteoros en la atmósfera terrestre.

Figure 2: Images of the control room and some of CCD high sensitivity video cameras operated by UHU from Doñana National Park to carry out the detection of meteors in the atmosphere.

La última estación de detección de meteoros operada por la UHU entró en funcionamiento en abril de 2009 en el Parque Natural de Doñana (Fig. 2). Al igual que el resto de estaciones de este tipo, los detectores registran la energía emitida por los meteoroides cuando

éstos colisionan con las moléculas de aire y se desintegran en la atmósfera terrestre. Por otra parte, también se ha ubicado en este lugar en colaboración con el IAA-CSIC un sistema automático para llevar a cabo la detección de impactos de meteoroides en la superficie de la Luna. Se espera obtener una importante sinergia con la operación conjunta de ambos sistemas. Asimismo, se ha habilitado recientemente la página web www.meteoroides.net, en la que se puede encontrar información sobre los proyectos que se desarrollan en la UHU en este campo (Fig. 3).

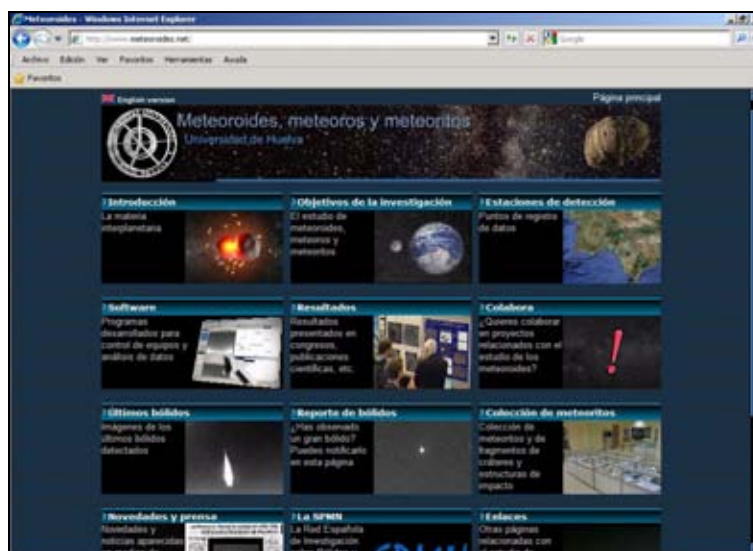


Figura 3: La web www.meteoroides.net muestra amplia información sobre los proyectos que lleva a cabo la UHU relacionados con el estudio de los meteoroides.

Figure 3: The web www.meteoroides.net shows extensive information on projects undertaken by the UHU related to the study of meteoroids.

Detección de impactos en la Luna

La Luna, al igual que la Tierra, recibe continuamente el impacto de objetos de distintos tamaños a gran velocidad (varias decenas de miles de kilómetros por hora). Se trata de fragmentos que proceden fundamentalmente de asteroides o cometas y que reciben el nombre de meteoroides. No obstante, al carecer de atmósfera, la Luna no dispone del escudo protector que tiene nuestro planeta y que hace que gran parte de estos objetos se desintegren antes de llegar al suelo. Por este motivo, en el caso de la Luna hasta las partículas más pequeñas de materia interplanetaria consiguen impactar contra su superficie. De hecho, nuestro satélite natural se encuentra cubierto por millones de cráteres que se han producido por el impacto de rocas a lo largo de varios miles de millones de años. Estos impactos también se han producido en la Tierra, si bien distintos procesos han ido borrando la huella de la inmensa mayoría de ellos (procesos tectónicos, erosión, etc.).

La detección de impactos de meteoroides en la Luna permite obtener información adicional sobre el flujo de materia interplanetaria que impacta con nuestro planeta. Esta técnica tiene la ventaja de permitir monitorizar una región mucho mayor (la superficie lunar) que la que se puede abarcar con los sistemas que se basan en la detección de meteoroides en la atmósfera terrestre.

El IAA-CSIC y la UHU colaboran para llevar a cabo una monitorización continua de la región no iluminada de la Luna con el fin de detectar estos impactos. Esta es la finalidad del proyecto MIDAS (*Moon Impacts Detection and Analysis System* - Sistema de Detección y

Análisis de Impactos Lunares). El equipamiento para llevar a cabo este proyecto se ha instalado tanto en el Parque Dunar (Parque Natural de Doñana, Huelva) como en la provincia de Sevilla (Fig. 4).

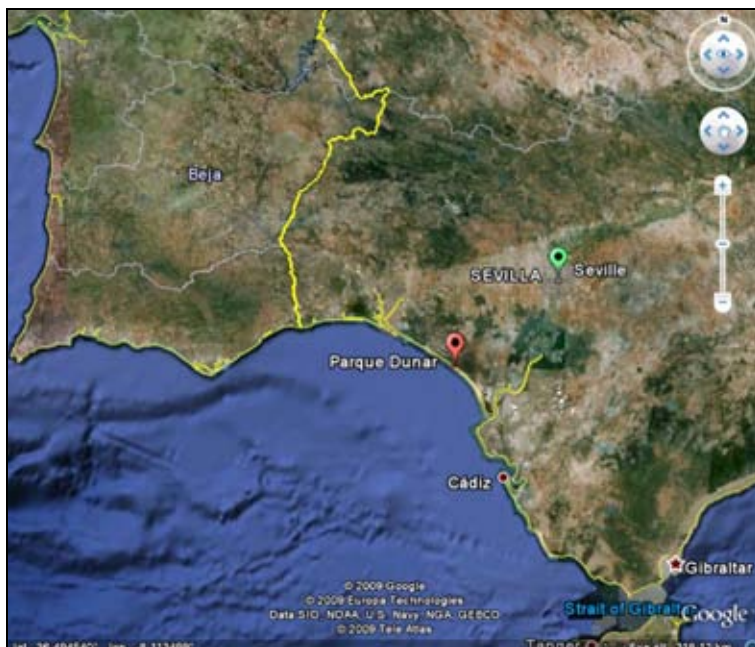


Figura 4: Ubicación de los telescopios utilizados en el proyecto MIDAS (UHU-IAA) para llevar a cabo la detección de impactos de meteoroides en la Luna.

Figure 4: Location of the telescopes used in the project MIDAS (UHU-IAA) to carry out the detection of meteoroid impacts on the Moon.

Objetivos del proyecto MIDAS

Los objetivos principales del proyecto MIDAS son los siguientes:

- Desarrollar un sistema robotizado de detección de impactos de meteoroides en la Luna basado en varios telescopios coordinados entre sí y conectados a sistemas de adquisición de imágenes de alta sensibilidad.
- Monitorizar de manera automática con estos telescopios la superficie no iluminada de la Luna para detectar dichos impactos.
- Determinar el valor de parámetros fundamentales para modelos teóricos de impactos: eficiencia lumínica, distribución de masa de las rocas que impactan con la Luna, flujo de material que llega a la superficie lunar, etc.
- Coordinar estas observaciones con los resultados que proporcionan los sistemas utilizados para detectar meteoroides en la atmósfera terrestre. Estos resultados permitirán conocer también con mayor precisión el flujo de material que impacta contra nuestro propio planeta.

Descripción del sistema de detección de impactos en la Luna

En el Parque Dunar (Huelva) se han instalado dos telescopios SC de 14 pulgadas a los que se han acoplado cámaras CCD de vídeo de alta sensibilidad (Fig. 5). Estas operan a 25 cuadros por segundo con una resolución espacial de 720x576 píxeles. En Sevilla se han instalado otros dos telescopios que operan siguiendo el mismo esquema. Estos telescopios monitorizan la misma porción de la superficie no iluminada de la Luna, pudiéndose llevar a cabo la detección de impactos cuando la fracción iluminada de nuestro satélite natural varía

entre el 0 y el 60%. El hecho de utilizar varios telescopios simultáneamente permite descartar falsos positivos producidos, por ejemplo, por rayos cósmicos o interferencias en el dispositivo de adquisición de imágenes. Estos sistemas pueden controlarse tanto in situ como de manera remota mediante una conexión a Internet.



Figura 5: Imagen de uno de los telescopios SC de 14 pulgadas que operan desde el Parque Dunar (Huelva) para detectar impactos de meteoroides contra la superficie de la Luna.

Figure 5: Picture of one of the SC 14-inch telescopes operating from Dune Park (Huelva) to detect impacts of meteoroids on the surface of the moon.

La detección de impactos de meteoroides en la Luna es una tarea que en la práctica debe llevarse a cabo de manera automática. Esto ha hecho necesario desarrollar un software (denominado también MIDAS) que permita procesar en tiempo real las imágenes registradas por los telescopios robóticos que monitorizan la superficie lunar en busca de los destellos producidos por esos impactos (Fig. 6).

El software MIDAS permite realizar, entre otras, las siguientes tareas:

- Captura de imágenes y análisis en tiempo real de las mismas.
- Detección automática de impactos de meteoroides en la Luna.
- Confirmación de impactos.
- Cálculo de coordenadas de impactos.
- Asociación de impactos con enjambres de meteoroides.
- Fotometría de impactos.

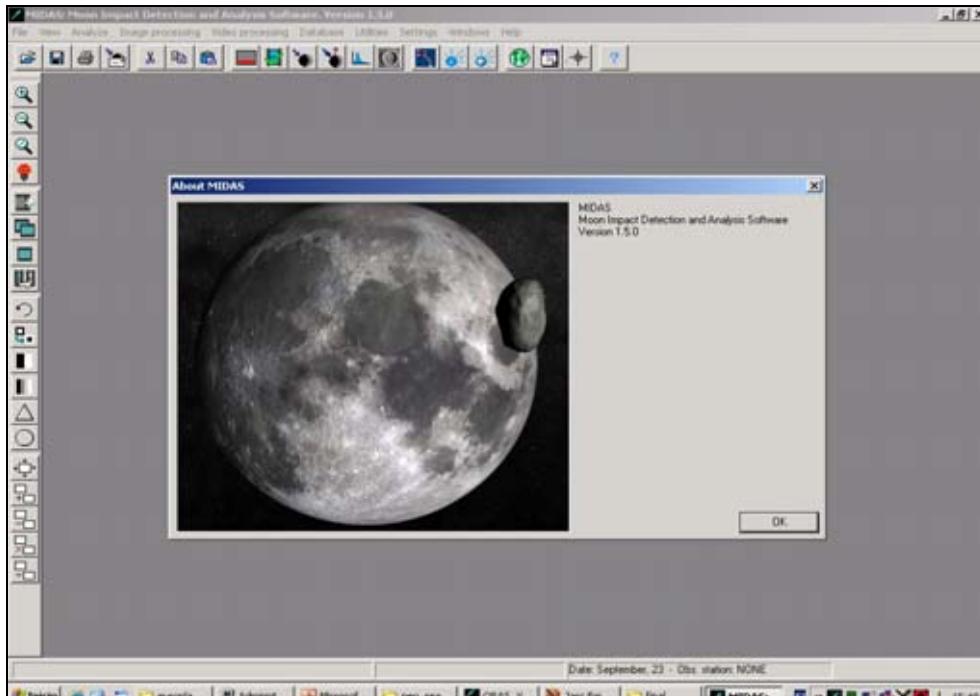


Figura 6: El software MIDAS ha sido desarrollado para identificar de manera automática los impactos que se producen contra la Luna.

Figure 6: The MIDAS software has been developed to automatically identify the impacts that occur on the Moon.

El programa también detecta de manera automática si un destello ha sido producido por el impacto de un meteoróide contra la superficie de la Luna y, por tanto, debe ser analizado o si, por el contrario, el destello lo ha generado algún tipo de interferencia sobre el sensor CCD de la cámara. Para ello el programa comprueba si el destello ha sido o no registrado de forma simultánea por al menos dos telescopios. La identificación del posible enjambre de meteoroides del que procede el objeto que ha impactado se hace mediante una base de datos interactiva de radiantes que se ha incorporado al software (Fig. 7).

Code	Name	Activity period	Max. date	Sol. long (d...)	ZHR	r	Met. vel. (km/s)	Radiant position (deg.)	
ACG	Alpha-Cygnids	July, 1 - September, 30	July, 15	112,70	???	???	???	RA: 315.00	DEC: 48.00
AND	Andromedids (Annual)	September, 25 - Nove...	October, 3	190,70	???	???	18	RA: 28.74	DEC: 49.18
BCR	Beta-Gruids	September, 22 - Octo...	October, 8	195,70	???	???	???	RA: 338.00	DEC: -48.00
BPH	Beta-Phoenicids	September, 23 - Octo...	October, 3	189,70	???	???	???	RA: 15.00	DEC: -45.00
DAU	Delta-Aurigids	September, 5 - Octob...	September, 9	166,00	7	3.0	64	RA: 111.70	DEC: 51.70
KAQ	Kappa-Aquarids	September, 8 - Septe...	September, ...	178,70	3	3.0	16	RA: 367.80	DEC: 12.40
NPI	Piscids N	September, 25 - Octo...	October, 12	199,70	???	???	29	RA: 26.00	DEC: 14.00
OCG	Omicron-Cygnids	September, 20 - Octo...	October, 3	188,70	???	???	15	RA: 333.70	DEC: 5.10

Figura 7: El software MIDAS utiliza una base de datos de radiantes que permite identificar el origen de un determinado impacto.

Figure 7: The MIDAS software uses a database radiant identifying the origin of a particular impact.

El programa determina, para cada uno de los radiantes que se encuentran activos durante el período de observación, cuál es la zona de la Luna en la que impactarían los meteoroides correspondientes. De esta forma, comparando estas zonas con las coordenadas del impacto detectado, se puede establecer si dicho impacto puede o no estar asociado con un determinado enjambre de meteoroides (Fig. 8).

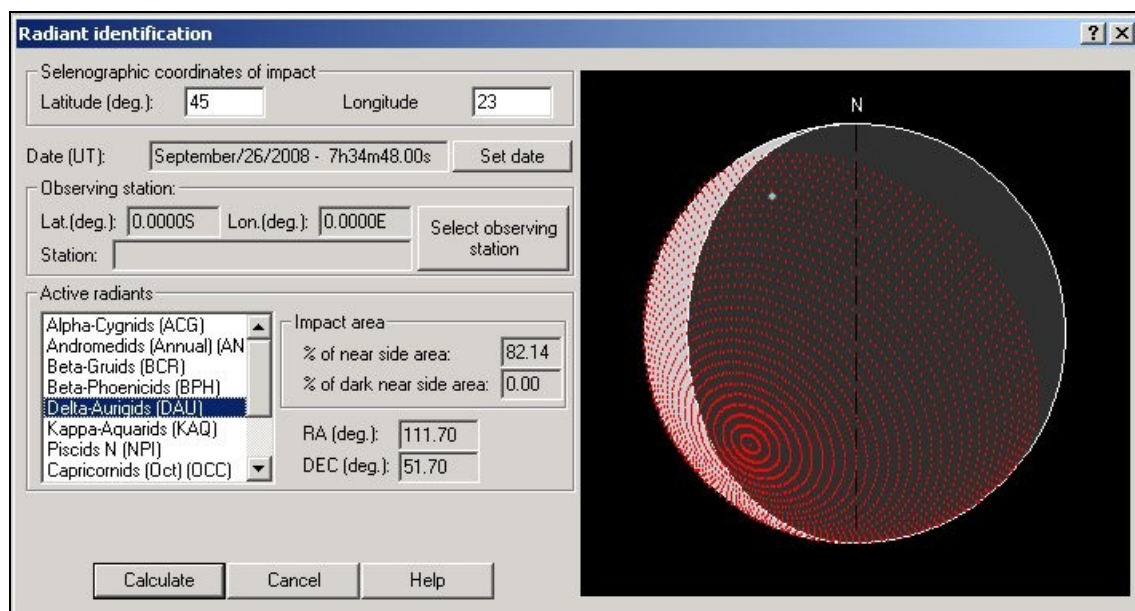
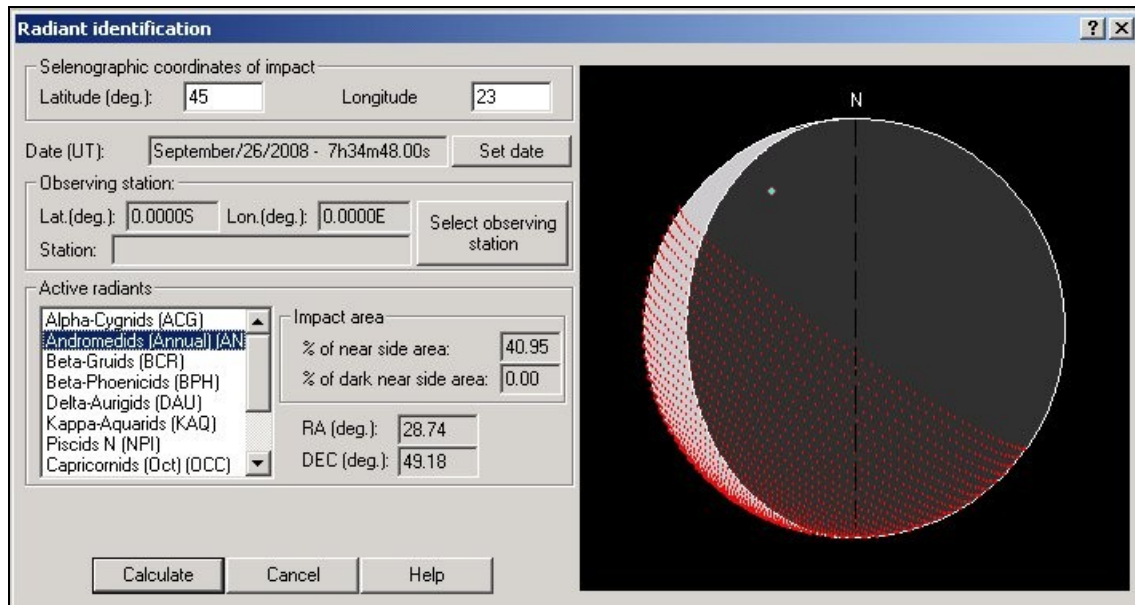


Figura 8: Comparando las coordenadas del impacto con las zonas en las que el software calcula que pueden impactar los meteoroides asociados a cada radiante activo (zonas punteadas en color rojo), MIDAS puede establecer la posibilidad de que el impacto haya sido producido por una partícula procedente de un determinado enjambre.

Figure 8: Comparing the coordinates of the impact with the areas in which the software calculates that may impact meteoroids associated with each active radiant (red stippled areas), MIDAS can be possible that the impact has been produced by a particle from a given swarm.

Conclusiones

La Red Española de Investigación sobre Bólidos y Meteoritos está llevando a cabo un intenso esfuerzo para analizar enjambres de meteoroides. Para ello se han implantado en distintos puntos del país estaciones de detección que registran cómo estas partículas interactúan con la atmósfera terrestre. También la UHU y el IAA CSIC han implantado un sistema automático para detectar impactos de meteoroides contra la superficie de la Luna. Este sistema, que se basa en una red de telescopios automáticos controlados mediante un software de desarrollo propio, permite establecer con mayor precisión cuál es el flujo de material que impacta contra la Luna y, por tanto, también cuál es el flujo de materia interplanetaria que llega a la Tierra.

Agradecimientos

El autor agradece el apoyo prestado por el IAA-CSIC para llevar a cabo la implantación de los sistemas de detección de meteoroides en la Luna.