

CONÈIXER QUÈ CAU DEL CEL

Josep M^a Trigo i Rodríguez*

Des de l'any 1998 és operativa la Xarxa d'Investigació sobre Bòlids i Meteorits, un projecte interdepartamental que manté un seguiment quasi continu de l'entrada a l'atmosfera de partícules interplanetàries, restes majoritàriament de cometes i asteroides. El rang de velocitats en què aquests cossos troben la Terra varia entre 11 i 73 km/s, depenent de la geometria concreta de l'encontre. En aquest procés les partícules pateixen el bruscat fregament amb les molècules de l'alta atmosfera i, com a conseqüència, solen desintegrar-se totalment o parcialment. Això produeix el rastre lluminós anomenat estel fugaç o meteor. Aquest fenomen s'esdevé constantment, com ho mostra el fet que totes les nits observem en una hora prop de deu estels fugaos d'una magnitud semblant a la dels estels més lluents. Generalment en entrar a aquestes velocitats

partícules amb massa superior al gram, produiran una brillantor superior a la dels planetes. Aquests meteors espectaculars s'anomenen bòlids o *fireballs* i el seu estudi té una importància extraordinària perquè són produïts per partícules de majors dimensions. El seu registre fotogràfic a alta resolució permet estudiar amb magnífic detall les propietats físiques i espectrals del fenomen lluminós.

Cada partícula que entra produeix un rastre d'aquest tipus, per la qual cosa podem fer servir l'atmosfera terrestre com un sensor enorme que permet estimar la quantitat de matèria que entra a la Terra i, a més modelitzar on cauen els meteorits. Aquest fenomen no resulta gens menyspreable, ja que anualment arriben a la Terra unes dues-centes mil tones de matèria interplanetària, tot i que aquesta aportació ha min-

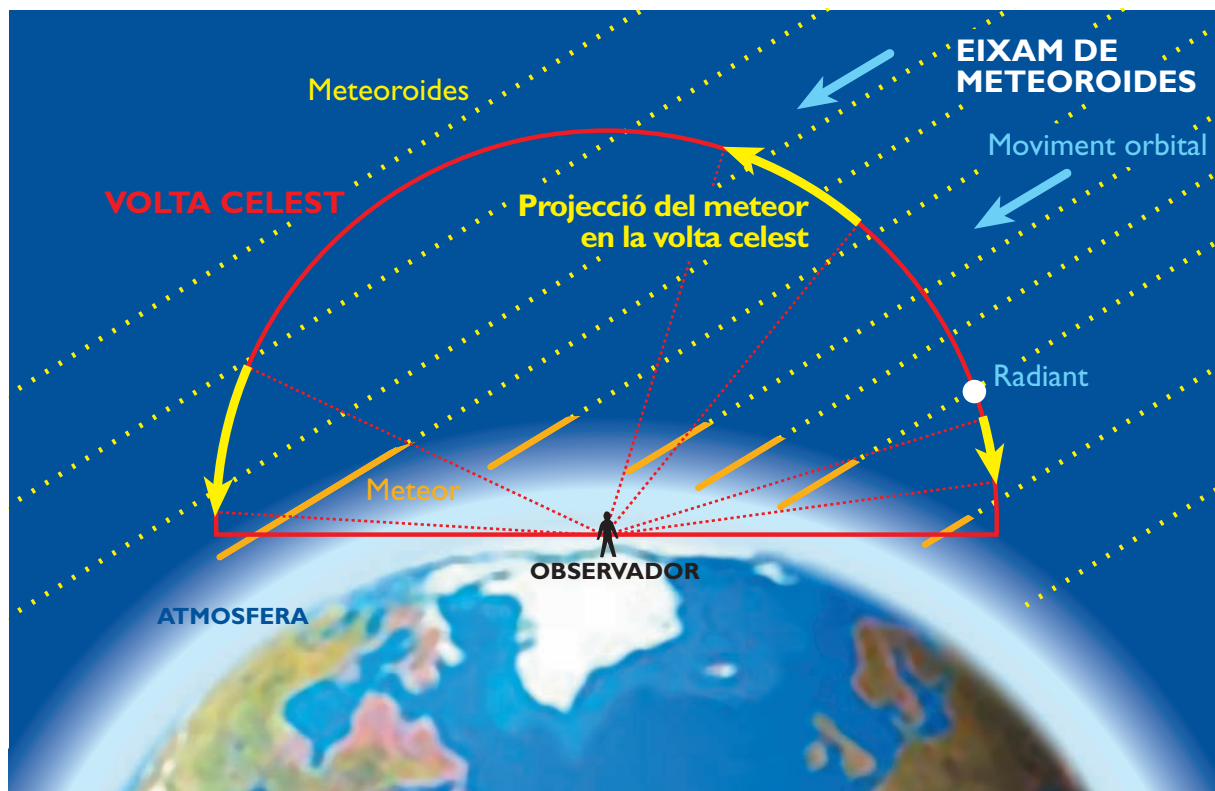


Figura 1: Vistes des de la superfície terrestre les partícules procedents d'un mateix cometa o asteroide semblen procedir d'un mateix punt de la volta celest que es denomina radiant. Quan les partícules interplanetàries incideixen en l'atmosfera a una velocitat de desenes de km/s, es desfan i produeixen una columna lluminosa que coneixem com a meteor o estel fugaç.

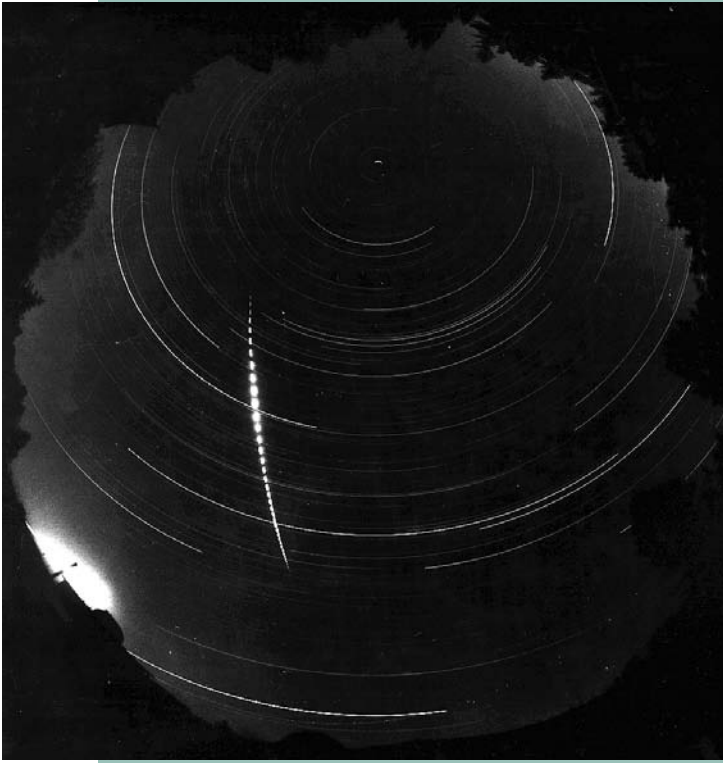


FIGURA 2: El gran bòlid EN220495 Kourim fotografiat des d'Ondrejov el 22 d'abril de 1995. Les càmeres *all-sky* enregistren tot el cel visible des de cada estació, inclòs l'horitzó. Estacions distanciades uns 100 km monitoritzen el cel i permeten obtenir l'òrbita i les propietats físiques de les partícules incidents. Cortesia Dr. Pavel Spurny (Ondrejov Observatory).

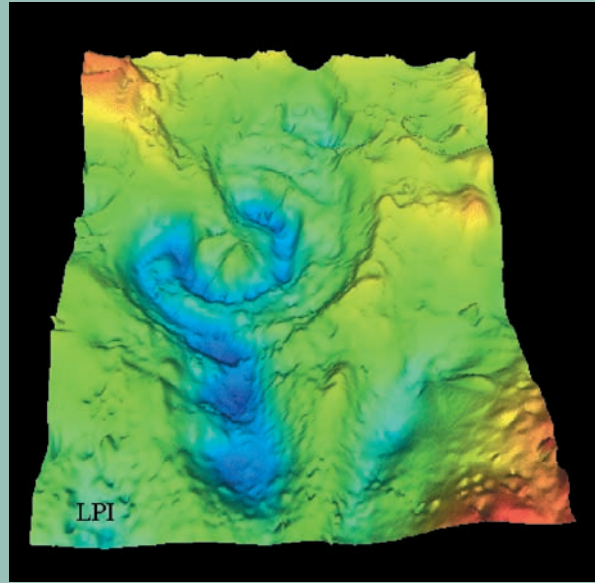
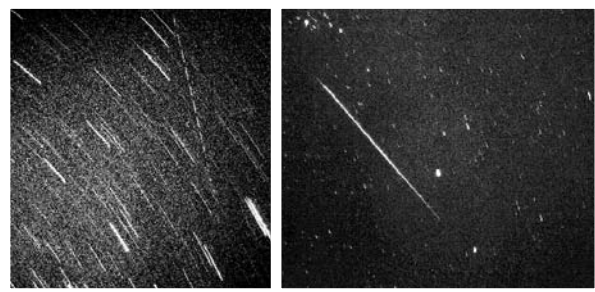


FIGURA 3: Fa 65 milions d'anys un asteroide d'uns vint quilòmetres de diàmetre impactà a la Península del Yucatán (Mèxic). Els seus efectes sobre la biosfera produïren l'extinció d'un 70% de les espècies vives del planeta. Aquí veiem l'evidència d'aquest impacte: el gran cràter submarí Chicxulub reconstruït per ràdar recentment. Afortunadament la freqüència d'un impacte d'aquestes característiques sobre la Terra és de 100 milions d'anys.

vat extraordinàriament des de la formació del nostre sistema planetari.

L'espectroscòpia d'aquestes traces ionitzades permet determinar la composició i abundància química dels meteoroides. D'altra banda, el càlcul de la trajectòria sobre la superfície terrestre podria permetre recuperar meteorits (en el cas que no s'hagin desfet completament en la seva entrada a l'atmosfera) com ja han fet en diverses ocasions altres xarxes fotogràfiques. A més la determinació de l'òrbita heliocèntrica del meteoroide ens permet conèixer l'origen d'aquest cos en el Sistema Solar i el seu probable parentesc amb cometes o asteroides. Tot i que s'han recuperat milers de meteorits en tot el món no es coneix pràcticament res de les seves òrbites, és a dir, de l'origen d'aquests cossos en el sistema solar. La raó és que no va ser possible en cada cas enregistrar amb detall la trajectòria dels bòlids que, en el seu dia, produïren cadascun d'aquests meteorits en entrar a l'atmosfera.

El primer programa fotogràfic sistemàtic per a l'estudi d'alta precisió de l'entrada atmosfèrica de



-4 Gemínida

SPMN 981201

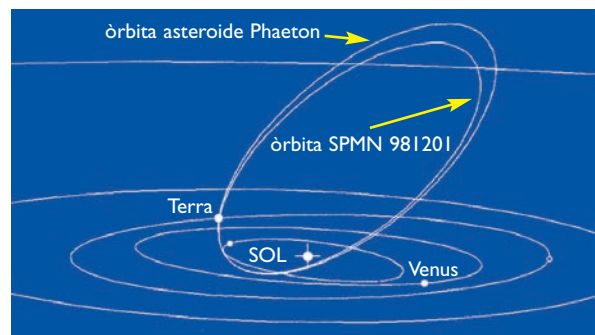


FIGURA 4: Imatge de bòlid Betxí, produït per un fragment de l'asteroide Phaeton. La imatge de la dreta, obtinguda per l'autor, mostra la seua trajectòria vista des del Desert de les Palmes i la de l'esquerra, obtinguda per Juli Castellano, vista des del Pla d'Arguines. La imatge estereogràfica permet reconstruir l'òrbita que seguia al voltant del Sol, semblant a la del seu cos engendrador (imatge de sota).



FIGURA 5: Durant el 18 de novembre de 1999, la Terra s'introduí en una regió molt densa de la cua del cometa P/ Temple-Tuttle. Alguns fragments amb una massa pròxima al quilogram produïren bòlids més lluents que la Lluna, com aquest enregistrat a Itàlia. La seqüència mostra com minuts després del fenomen és encara visible un deixant persistent que evidencia com la matèria s'escampa en l'atmosfera. Cortesia Massimo Chianese i Claire Arbonniere.



FIGURA 6: Aquest és el famós meteorit Allan Hills 84001 trobat a l'Antàrtida l'any 1984. Aquesta roca es formà en Mart tot i que un fort impacte la llançà a l'espai interplanetari fins que arribà a la Terra. L'estudi de la composició i estructura interna de petits dipòsits de carbonats revelen que la regió marciana d'on prové estava immersa en aigua i, fins i tot, alguns científics els han identificat contròvertidament com a possibles microfòssils.



meteoroides va ser obra de Fred L. Whipple, famós també per les seves aportacions a l'estudi dels cometes. Aquest investigador va encarregar-se del manteniment entre 1936 i 1951 del Harvard Meteor Project, dotat de càmeres Schmidt de gran camp. El segon programa de fotografia en doble estació va ser establert a l'Observatori d'Ondrejov (República Txeca) des de 1951 a 1977. El 7 d'abril de 1959 va ser fotografiat el gran bòlid de Prábam (quasi tan brillant com el Sol) del qual es van recuperar quatre meteorits precisament en l'àrea calculada a partir de la trajectòria estimada des de fotografia en doble estació.

El creixent interès per aquests estudis va fer que es crearen en els anys 60 tres xarxes fotogràfiques per registrar grans bòlids a Europa central, Estats Units i Canadà. Les dues últimes han reduït enormement la seva tasca en els últims temps i únicament continua en completa activitat l'anomenada European Fireball Network. Aquesta xarxa consta de 43 estacions fotogràfiques distanciades uns 100 km per terme mitjà al llarg de la República Txeca. Alemanya, Holanda,

Àustria, Eslovàquia, Bèlgica i Suïssa. L'observatori txec d'Ondrejov ha estat el principal promotor d'aquesta iniciativa de la mà del doctor Znedek Ceplecha. Així mateix és en aquest centre pioner on s'anàlitzien i mesuren les plaques fotogràfiques.

A l'Estat Espanyol fins els anys 90 no s'havien calculat òrbites de meteors. Les primeres campanyes van ser organitzades per l'autor per tal d'estudiar la pluja meteòrica de les Perseides durant l'any 1991. Es van obtenir tres òrbites de bona qualitat en raó a l'instrumental utilitzat. Més tard, a partir d'un gran bòlid fotografiat l'any 1993, es va decidir promoure la investigació meteòrica, tot creant una xarxa fotogràfica capaç de cobrir al llarg de l'any diverses pluges de meteors intenses. Des d'aquestes primeres iniciatives fins els nostres dies hem volgut que participaren activament astrònoms afeccionats, com una iniciativa



FIGURA 7: Aquest bòlid va ser fotografiat el 19 de febrer de 1999 des de l'observatori d'Ondrejov (República Txeca) amb una de les càmeres automàtiques que planeja instal·lar la Xarxa d'Investigació sobre Bòlids i Meteorits. Durant dotze hores que durà l'exposició el moviment terrestre va fer que els rastres estel·lars descrigueren en el cel un mig cercle. Imatge cortesia Dr. Pavel Spurný (Ondrejov Observatory).

pionera per difondre la ciència promovent la participació activa. De fet, donat que els meteors apareixen en forma imprevisible, càmeres fotogràfiques reflex convencionals a l'abast de qualsevol afeccionat poden fer grans aportacions en aquest camp, com mostren els nostres treballs recents, publicats a *Astronomy & Astrophysics* o a *WGN*.

L'any 1998 va ser un any decisiu per al desenvolupament d'aquesta iniciativa. El suport de l'Institut d'Estudis Espacials de Catalunya, junt amb la Universitat de València, la Universitat Jaume I i la Universitat de Barcelona, ha permès desenvolupar conferències i cursos sobre aquesta àrea. Un nombre major de participants ha fet possible l'establiment de diverses estacions mòbils a Andalusia, País Valencià, Catalunya i a Mallorca. Això ha permès mantenir diverses estacions al llarg de tot l'any.

En una segona fase del projecte, intentarem establir diverses estacions fotogràfiques dotades de càmeres semiautomàtiques per obtenir fotografies de meteors i espectres que permetin el desenvolupament d'aquesta disciplina al nostre país. Precisament en l'actualitat l'Institut d'Estudis Espacials de Catalunya dirigeix la recerca de patrocinadors per aconseguir les càmeres automàtiques, cor de la segona fase.


■ PRINCIPALS OBJECTIUS CIENTÍFICS

La nostra xarxa fotogràfica neix amb uns objectius clarament definits. D'una banda, obtenint les òrbites i espectres d'aquests bòlids aprofundirem en l'associació dels meteorits que arriben a hores d'ara a la Terra amb els cossos menors del Sistema Solar. A partir de la modelització de les trajectòries en l'atmosfera dels

grans bòlids podríem fins i tot recuperar els meteorits que sobrevisquen a l'ablació atmosfèrica. Podem conèixer els casos favorables a partir de la consistència del cos incident (deduïda de les propietats físiques del traç ionitzat). La zona d'impacte pot determinar-se a partir de la trajectòria calculada amb una precisió que, en els millors casos, seria d'uns centenars de metres.

Com que obtenim un registre de les partícules incidents en cada moment per unitat d'àrea, les nostres imatges permeten analitzar el flux de matèria interplanetària que intercepta la Terra com a funció del temps. A partir d'aquestes dades es pot calcular la densitat d'eixams meteòrics provinents de cometes i asteroides. Especialment atractiu és l'estudi de la densitat de partícules existent en les cues cometàries que són interceptades per la Terra. Recentment, durant la tempesta meteòrica de Lleònides 1999, vam obtenir prop d'una vintena d'òrbites de partícules provinents del cometa 55P/Tempel-Tuttle (figura 5).

Els milers de meteorits descoberts a tot el món proporcionen una valuosa informació en diversos camps del Sistema Solar. Tot i això el nostre coneixement sobre el seu origen és encara avui limitat per culpa de l'absència de dades sobre les seves òrbites anteriors al seu encontre amb la Terra. Les xarxes fotogràfiques com la que proposem podran obtenir una valuosa informació sobre la provenença dels diferents tipus de meteorits. Amb això es pot fer una aportació significativa en:

- La comprensió de les etapes més fosques de l'agregació de planetesimals en les etapes progenitores dels planetes, recollint dades sobre els tipus de meteorits incidents a la Terra, el seu origen i composició.
- Obtenir una visió més ampla de les abundàncies típiques de meteorits al medi interplanetari, considerant que els recollits a la superfície terrestre no són significatius. La raó és que molts tipus fràgils són incapaços de sobreviure a l'ablació atmosfèrica.
- Aconseguir dades de fragments associats als perillosos Near Earth Asteroids (NEA) que expliquen la composició química dels progenitors i l'evolució orbital d'aquests objectes que poden fer perillar la vida al planeta Terra.
- Explicar acuradament l'origen dels bòlids que apareixen al nostre cel. A vegades són produïts durant la reentrada de ferralla espacial, com el que s'observà el 27 de novembre de 1999 produït per la reentrada de una fase del coet xinès La Llarga Marxa. 

*Doctorand, Dept. Astronomia i Astrofísica, Universitat de València.
Professor associat, Dept. Ciències Experimentals, Universitat Jaume I.

ELS METEORS EN ASTROBIOLOGIA

L'estudi d'aquests bòlids ens proporciona informació sobre les temperatures i processos degradatius que pateixen aquestes partícules en entrar a l'atmosfera. Aquest camp de fet entra en l'astrobiologia perquè aquests fenòmens representaren un paper important durant la fase formativa del Sistema Solar, quan bona part de l'aigua i elements volàtils que trobem a la biosfera hauria entrat en forma de cometes. De l'estudi del nombre, dimensions i antiguitat dels cràters que trobem a la Lluna i d'altres planetes i satèl·lits, sabem de fet que el flux de partícules cometàries incidents a la Terra primitiva va ser milers de vegades més important que a hores d'ara. El bombardeig continu d'aquestes partícules en el passat explicaria la presència de bona part de la component volàtil de planeta, especialment l'aigua i els compostos orgànics com va proposar el bioquímic Joan Oró l'any 1961.

L'elevada concentració d'aigua i la riquesa química d'aquestes partícules han fet que la secció d'astrobiologia de la NASA, dirigida per l'astrònom Peter Jenniskens, dedique part del seu pressupost a l'estudi dels meteors. La petita possibilitat de capturar un meteorit després d'enregistrar-ne la trajectòria d'entrada no és l'única manera de conèixer la natura d'aquests objectes. La desintegració del meteoroides durant el seu vol atmosfèric origina la formació d'un embolcall de vapor calent al voltant del cos. Aquest vapor emet llum en diferents longituds d'ona, l'anàlisi espectroscòpica de la qual ens pot permetre conèixer la composició química de la partícula incident. A partir d'aquests espectres podem conèixer la composició química aproximada de la partícula i d'aquesta manera identificar el tipus de meteorit incident, en el cas que la seua volatilització en l'atmosfera siga total.

Recentment la Xarxa d'Investigació sobre Bòlids i Meteorits ha obert una pàgina web amb la idea de difondre aquestes activitats i promoure la participació en el servidor de la Universitat Jaume I de Castelló:

<http://www.spmn.uji.es/>

J.M.T.