

## Un monográfico sobre meteoritos en conmemoración de la caída de Villalbeto de la Peña

*A special issue on meteorites in commemoration of the Villalbeto de la Peña meteorite fall*

La Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra ha tenido desde sus orígenes el afán de contribuir a la enseñanza interdisciplinar de la geofísica y otras ciencias planetarias y, quizás por ello, ese interés se refleje en su revista. Posiblemente la Meteorítica, la ciencia que trata del estudio y comprensión de los meteoritos, ejemplifique a la perfección ser un área multidisciplinar. Quizás por ello, cuando el editor de esta revista me propuso coordinar un monográfico sobre meteoritos, sus cuerpos progenitores y los procesos asociados pensé que no podía nacer en un mejor marco ni con una audiencia más selecta. Pienso que este monográfico ha supuesto para todos sus artífices un doble reto, tanto personal como profesional en la que todos nos hemos embarcado en tiempo récord a exponer de manera divulgativa pero no exenta de rigurosidad el interés científico y humano de estas rocas que nos llegan continuamente desde el espacio y que nos relatan historias jamás contadas sobre el origen del Sistema Solar y de los cuerpos que lo conforman. Asimismo el lector encontrará en este volumen una descripción de diversos fenómenos asociados al fenómeno meteorítico que son, por cierto, bastante desconocidos: bólidos, estallidos atmosféricos, cráteres, rocas de impacto, etc...

De este modo, este monográfico especial ha sido el resultado de un esfuerzo colectivo de varios grupos de excelencia que he tenido el sumo placer de coordinar. Este compendio nace como un homenaje a nuestro primer gran hito en el campo de la meteorítica moderna. A principios del siglo XX se habían producido en España una serie de caídas afortunadas en medio de zonas pobladas, la última de las cuales sucedió en la calle principal del municipio leonés de Reliegos en 1947. Desde entonces estos fenómenos permanecieron esquivos por el

resto del siglo pasado a pesar de que las estadísticas obtenidas por las redes de bólidos indican que sobre la España peninsular debería ocurrir una caída de un meteorito con una masa superior al kilogramo anualmente. Sin embargo, el 4 de enero de 2004, hace unos diez años, un gran bólido diurno atravesó el noroeste de la península ibérica, cayendo en Villalbeto de la Peña en Palencia (Fig. 1). En pleno cambio hacia la era digital y en una época bastante próspera, en la que el número de cámaras y otros dispositivos digitales per cápita se disparaba, el susodicho bólido no sólo fue observado sino también registrado en vídeo y fotografiado desde varios lugares. Nuestros esfuerzos por recuperar y caracterizar esos meteoritos y conocer el origen de esa roca en el Sistema Solar tuvieron recompensa y dos trabajos relevantes vieron la luz (Llorca et al., 2005; Trigo-Rodríguez et al., 2006). Gracias al esfuerzo desarrollado por los integrantes de la Red de Investigación sobre Bólidos y Meteoritos creada en 1999 pudo recopilarse valiosa información sobre ese meteorito que resultó ser una condrita ordinaria del grupo L6 (Llorca et al., 2005). Posteriormente se ha evidenciado que se trata de una brecha, una roca compleja que ha experimentado diversificación lítica por impactos y que también posee evidencia directa en sus componentes minerales de haber padecido alteración acuosa (Dyl et al., 2012). Estos descubrimientos no hubieran sido posibles de no haberse recuperado estos meteoritos a las pocas semanas de su caída pues el agua hubiese alterado de manera muy significativa estos materiales llegados del cielo (Fig. 2).

*Fig. 1. El bólido de Villalbeto de la Peña registrado casualmente por Salvador Díez desde las Hoces de Vegacervera (León). Fue una de las imágenes calibradas con exposiciones estelares nocturnas y un vídeo obtenido desde la ciudad de León para obtener la primera órbita de un meteorito desde España (novena en todo el mundo, Trigo-Rodríguez et al., 2006). Imagen cortesía del autor.*



*Fig. 2. Uno de los meteoritos de Villalbeto de la Peña encontrado in situ por los participantes en las tareas de búsqueda (Red SPMN).*

En el primer artículo y como mera introducción se hablará del variado rango de tamaño en el que la materia interplanetaria alcanza la atmósfera terrestre. Desde partículas de pocas decenas de micras que, cuando alcanzan la Tierra a baja velocidad geocéntrica, se depositan suavemente en la atmósfera, hasta grandes rocas procedentes de asteroides, cometas e incluso de planetas que producen espectaculares bolas de fuego, también denominadas bólidos. Estudiando las trayectorias y grado de profundización de los bólidos podemos saber si sobreviven fragmentos apreciables que alcanzan la superficie y es entonces cuando se denominan meteoritos. El primer meteorito con órbita en el Sistema Solar fue obtenido por el pionero Znedek Ceplecha (Ceplecha, 1961). En este artículo introductorio también se citarán los conocidos enjambres de meteoroides generalmente asociados a cometas y a unos pocos asteroides que al penetrar en la atmósfera terrestre producen las denominadas lluvias de meteoros, muchas de ellas de carácter periódico.

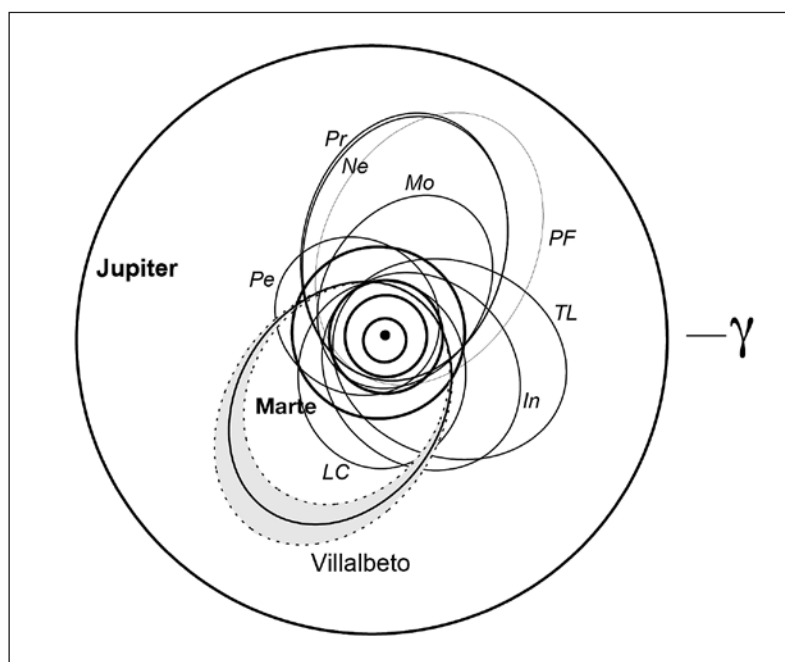
En el segundo artículo la geofísica Mar Tapia del *Laboratori d'Estudis Geofísics Eduard Fontseré (IEC)* nos explica los detalles de la brusca interacción de los meteoroides con la atmósfera terrestre. La mayoría de partículas que alcanzan la atmósfera se desintegran antes de tocar el suelo. Muchas suelen perder la mayor parte de su masa e incluso el cuerpo superviviente se desintegra como consecuencia de la presión hidrodinámica que sufren al penetrar en las capas más profundas de la atmósfera. Veremos como esos violentos eventos denominados estallidos atmosféricos generan ondas de presión y, consiguientemente, sonidos e infrasonidos que se propagan grandes distancias a través de la atmósfera. Al alcanzar el suelo, tales ondas producen fenómenos sísmicos de características peculiares que permiten ser distinguidos perfectamente de los sismos convencionales.

En el tercer artículo encontraremos una descripción histórica del fenómeno meteórico a cargo del Prof. Jordi Llorca de la *Universitat Politècnica de Catalunya*. La humanidad tardó siglos en aceptar abiertamente que los meteoritos tenían procedencia extraterrestre. La meticulosa labor de estudio del fenómeno meteórico por el físico alemán Ernst Florens Friedrich Chladni (1756-1827) le motivó a entrar en contacto con distinguidos científicos. Uno de ellos, el físico George C. Lichtenberg (1742-1799) de la Universidad de Göttingen. Este le mostró que para estudiar el origen de las bolas de fuego sería muy importante recopilar las trayectorias de los bólidos con la precisión que muchas veces permitían los instrumentos ampliamente desarrollados para la astronomía de posición y le sugirió que debía estar asociada a la caída de rocas del cielo. Como consecuencia de la interacción entre ambos científicos Chladni publicó en 1794 un pequeño libro de setenta y tres páginas en el que describía el origen extraterrestre de los meteoritos. Este es el comienzo de un relato plagado de anécdotas que nos brinda la presencia de los meteoritos en la historia y analiza la evolución de su interpretación moderna.

En la cuarta contribución de este monográfico, yo mismo, en calidad de coautor, junto a Marina Martínez-Jiménez insistimos en que, para conocer más detalles sobre el origen del Sistema Solar, es prioritario estudiar los componentes formativos

de los cuerpos más pequeños y primitivos, básicamente conocidos como cometas y asteroides condriticos. Además de esos primeros materiales, auténticos fósiles del disco protoplanetario, también poseen granos estelares formados en los entornos circumstelares de estrellas del entorno solar (Meyer y Zinner, 2006). Tales componentes primigenios conforman estos fascinantes objetos llegados a la Tierra como meteoritos o en forma de frágiles partículas de polvo interplanetario de tamaño microscópico. Estas últimas se recuperan en la estratosfera con aviones dotados de sistemas especiales de captura. Recientemente se han añadido a nuestra colección de materiales primigenios las partículas recuperadas por la sonda *Stardust* al atravesar la coma del cometa 81P/Wild 2 (Brownlee et al., 2006; Trigo-Rodríguez, 2008). A pesar de que la cantidad de masa de este cometa que incidió en el aerogel del colector en forma de panal fue de tan sólo unos 0.3 miligramos (Hörz et al., 2006), este material es especialmente relevante dado que su recuperación *in situ* permite establecer sin género de duda el cuerpo progenitor. Nos da una idea de la oportunidad científica que ofrecen las misiones de retorno de muestras desde cuerpos no diferenciados. Sin embargo, la complejidad y el coste de tales misiones, hace que a fecha de hoy sólo se haya podido recuperar rocas de la Luna, del anteriormente mencionado cometa y de un pequeño asteroide denominado Itokawa. Aunque todos los días llegan meteoritos a la Tierra generalmente será solo su breve registro en fase de bólido al decelerarse en la atmósfera la que permita definir su órbita heliocéntrica para profundizar en su región de origen en el Sistema Solar (Fig., 3). Desgraciadamente, la mayoría de los meteoritos llegados a la Tierra lo hacen sobre zonas remotas y deshabitadas por lo que raramente son observados en su caída y mucho menos queda un registro fotográfico o vídeo del cual obtener esa información precisa de su trayectoria atmosférica. Afortunadamente, existen detectores a bordo de satélites que cambian ese panorama (Miller et al., 2013).

*Fig. 3. Las órbitas heliocéntricas de Villalbeto de la Peña y de otros 8 meteoritos muestran que poseen su afelio en el cinturón principal de asteroides y, por tanto, deben proceder mayoritariamente de esa región del Sistema Solar. Los acrónimos significan: Pribram (Pr), Lost City (LC), Innisfree (In), Peekskill (Pe), Tagish Lake (TL), Moravka (Mo), Neuschwanstein (Ne) y Park Forest (PF). Tras la caída de Villalbeto de la Peña se han recuperado otros meteoritos con datos orbitales que no aparecen en esta imagen (véase Tabla 4 de la introducción).*



No cabe duda que la recuperación de meteoritos constituye hoy en día un campo de oportunidad en el estudio de las ciencias planetarias. Tanto los meteoritos más primitivos como aquellos que proceden de otros cuerpos planetarios diferenciados nos proporcionan valiosa información sobre los procesos físico-químicos acaecidos durante la formación y la evolución de esas rocas y, por ende, de los cuerpos de los que proceden. Así, en un trabajo conjunto con Carles Moyano, les describimos en detalle las diferentes fuentes de meteoritos diferenciados, conocidos como acondritas. Por poner un ejemplo, la recuperación en España en 2007 de la eucrita Puerto Lápice, una roca procedente del asteroide Vesta (Llorca et al., 2009) tras haber estimado su trayectoria y rango de posibles órbitas en el Sistema Solar (Trigo-Rodríguez et al., 2009) ha proporcionado valiosa información sobre la formación de la corteza basáltica de éste, que es el segundo asteroide más masivo tras Ceres. La misión Dawn de la NASA tiene precisamente como objetivo la exploración y cartografiado de ambos cuerpos.

Pero muchos de esos cuerpos planetarios que se formaron hace unos 4.565 millones de años no pudieron sobrevivir a la etapa de gigantescas colisiones que produjeron los planetas. Sin embargo, algunos de los enormes bloques de tales cuerpos han sobrevivido en forma de meteoritos metálicos y metalorocosos. Precisamente de esos meteoritos de naturaleza metálica nos habla el Dr. Rafael Lozano del Instituto Geológico y Minero de España (IGME). También nos habla del nuevo siderito encontrado en Retuerta del Bullaque (Ciudad Real) que ha sido recientemente caracterizado por el IGME como octaedrita gruesa.

El séptimo artículo surge de la colaboración con el Prof. Madiedo de las Universidades de Huelva y Sevilla y aborda las fuentes dinámicas y cuerpos progenitores de los meteoritos así como las diferentes técnicas que se emplean para deducir estos detalles sobre su origen. Mediante datación isotópica se obtienen las edades de Rayos Cósmicos que nos enseñarán que los mecanismos de transporte desde los cuerpos progenitores de meteoritos hasta la Tierra no son, ni mucho menos, tan rápidos como podríamos pensar. Por término medio, desde que son desprendidas tras colosales impactos de la superficie de sus cuerpos progenitores, suelen pasar varias decenas de millones de años en el espacio interplanetario. Esto lo sabemos puesto que en la superficie de estas rocas quedan implantados gases nobles que son emitidos constantemente desde el Sol, formando parte del viento solar.

Los fenómenos de colisión en meteoritos también resultan apasionantes y así los describimos a la par con Carles Moyano en el siguiente artículo. El caso más común de proceso de choque se produce cuando un cuerpo relativamente grande recibe el impacto de un objeto menor, pero lo bastante masivo para causar un cráter. La energía transferida moldea el cráter y la onda expansiva es capaz de impulsar material de las paredes del mismo con energía suficiente para escapar del campo gravitatorio. De hecho, la mayoría de meteoritos que alcanzan la superficie terrestre presentan minerales y patrones petrológicos que evidencian haber sido sometidos

a impactos. Identificar tales minerales permite también cuantificar el grado de choque que han experimentado y proporciona claves para datar isotópicamente la historia colisional de estas rocas y sus cuerpos progenitores.

Jens Örmö del Centro de Astrobiología (CSIC-INTA) y Oriol Oms de la *Universitat Autònoma de Barcelona* (UAB) nos hablan en su trabajo de los procesos de formación de cráteres de impacto que han acontecido a lo largo de los eones en la superficie de cuerpos planetarios. La Tierra posee una atmósfera que lo protege eficientemente del impacto directo de asteroides de pocas decenas de metros y, además, ha sido un planeta geológicamente muy activo a lo largo de su historia y su superficie se regenera como consecuencia de la subducción. Por tanto, muchos impactos que evidencian esos bruscos encuentros con inesperados proyectiles ya han sido borrados. Aún en esas circunstancias adversas para la preservación de cráteres hay reconocidas 184 estructuras de impacto en el planeta Tierra pero ciertamente millones en otros planetas y cuerpos del Sistema Solar que nos hablan de la importancia del proceso de craterización para conformar el Sistema Solar tal cual lo conocemos.

Finalmente, en el último artículo, David Bueno de la *Universitat de Barcelona* (UB) nos habla de una historia todavía inconclusa. Sabemos que la evolución de la química orgánica precede a la de la misma Tierra pues sus procesos de creciente complejidad se dieron en el espacio, en oscuros rincones del disco protoplanetario y hasta en asteroides condriticos empapados en agua y materia orgánica decenas de millones de años antes de que la Tierra se consolidase (Trigo-Rodríguez, 2012a,b). Pues bien, ese último capítulo nos esboza una Tierra primitiva todavía incógnita en muchos aspectos pero que dio origen al único planeta vivo que conocemos: Gaia (Lovelock, 2007). Los organismos vivos se han asociado para conformar una biosfera enormemente resistente a su hostil entorno pero desconocemos muchos de los procesos primigenios de transición hacia la vida (Lazcano et al., 1988). Futuras generaciones de científicos, dotados posiblemente con otras herramientas e instrumentos más avanzados, quizás puedan acercarse más a la comprensión del origen de la vida mismo.

Finalmente debo agradecer a los autores el proceso de revisión que han realizado de los capítulos y agradecer a Enrique Díaz Martínez por su revisión de uno de los trabajos. Así pues, esperamos que éste sea para los lectores una introducción a un campo candente y tremendamente dinámico. Todos deseamos que futuras misiones de exploración a asteroides, cometas y cuerpos planetarios llamen la atención de nuestros jóvenes y hagan que nuestro país, si finalmente el gobierno decide impulsar la ciencia al nivel que merece y sustentan otros países europeos, puedan contribuir a la formación de futuras generaciones de científicos planetarios con mayores capacidades de desarrollo tecnológico en un campo en auge a nivel internacional. Pese a que nuestro entorno sea hostil esperamos que el lector encuentre en esta revista una buena herramienta para seguir divulgando las bondades del conocimiento científico. La unión y voluntad que se demuestra con vuestra vinculación a la AEPECT, amigos/as, hace la fuerza.

## BIBLIOGRAFÍA

Brownlee D. et al. (2006) Comet 81P/Wild 2 Under a Microscope, *Science* 314, 1711-1716.

Ceplecha Z. 1961. Multiple fall of Pribam meteorites photographed. *Bull. Astron. Inst. Czech.* 12:21-47.

Dyl K.A., Bischoff A., Ziegler K., Young E.D., Wimmer K. y Bland P. (2012) Early Solar System hydrothermal activity in chondritic asteroids on 1-10 year timescales. *Proceedings National Academy of Sciences*, pnas.1207475109.

Hörz F. et al. [incluyendo J.M. Trigo-Rodríguez] (2006) Stardust implications for Wild 2 coma dust. *Science* 314, 1716-1719.

Lazcano, A., Guerrero, R., Margulis, L., Oro, J. (1988) The evolutionary transition from RNA to DNA in early cells. *J. Mol. Evol.* 27: 283-290.

Llorca J., J.M. Trigo-Rodríguez, J.L. Ortiz, J.A., Docobo J., García-Guinea, A.J. et al. (2005) The Villalbeto de la Peña meteorite fall: I. Fireball energy, meteorite recovery, strewn field and petrography. *Meteoritics & Planetary Science* 40, 795-804.

Lovelock, James E. (2007). Las edades de Gaia. Una biografía de nuestro planeta vivo. Tusquets Editores.

Meyer B.S. y E. Zinner (2006) Nucleosynthesis. En *Meteorites and the Early Solar System II* (D.S. Lauretta y H.Y. McSween, eds.), pp. 69-108. Arizona Univ. Press, Tucson, EUA.

Miller S.D., Straka W.C., Scott Bachmeier A., Schmit T.J., Partain P.T., et al. (2013) Earth-viewing satellite perspectives on the Chelyabinsk meteor event. *Proceedings National Academy of Sciences*, pnas.1307965110.

Proud S.R. (2013) Reconstructing the orbit of the Chelyabinsk meteor using satellite observations. *J. Geophysical Research Letters* 40, 1-5, doi: 10.1002/grl.50660.

Trigo-Rodríguez J.M., A. Castro-Tirado, J. Llorca, J. Fábregat, V. J. Martínez, V. Reglero, M. Jelínek, P. Kubánek, T. Mateo and A. de Ugarte Postigo (2004) The development of the Spanish Fireball Network using a new all-sky CCD system. *Earth, Moon Planets* 95, 553-567.

Trigo-Rodríguez J.M., J. Borovička, P. Spurný, J.L. Ortiz, J.A. Docobo, A.J. Castro-Tirado, and J. Llorca (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. (2008) La misión Stardust: Implicaciones astrofísicas de las muestras analizadas del cometa 81P/Wild 2. *Revista Iberoamericana de Física* 4 (1), 23-30.

Trigo-Rodríguez J.M. (2012a) Meteoritos, Colección ¿Qué sabemos de...?, Editorial Catarata-CSIC, Madrid.

Trigo-Rodríguez J.M. (2012b) Las raíces cósmicas de la vida, Colección El Espejo y la Lámpara, Servei Publicacions UAB, Barcelona.

Josep M. Trigo-Rodríguez

Grupo de Meteoritos, Cuerpos Menores y Ciencias Planetarias. Instituto de Ciencias del Espacio (CSIC-IEEC), Campus UAB, Facultat de Ciències, C5-p2, 08193 Bellaterra (Barcelona), Spain. trigo@ice.csic.es