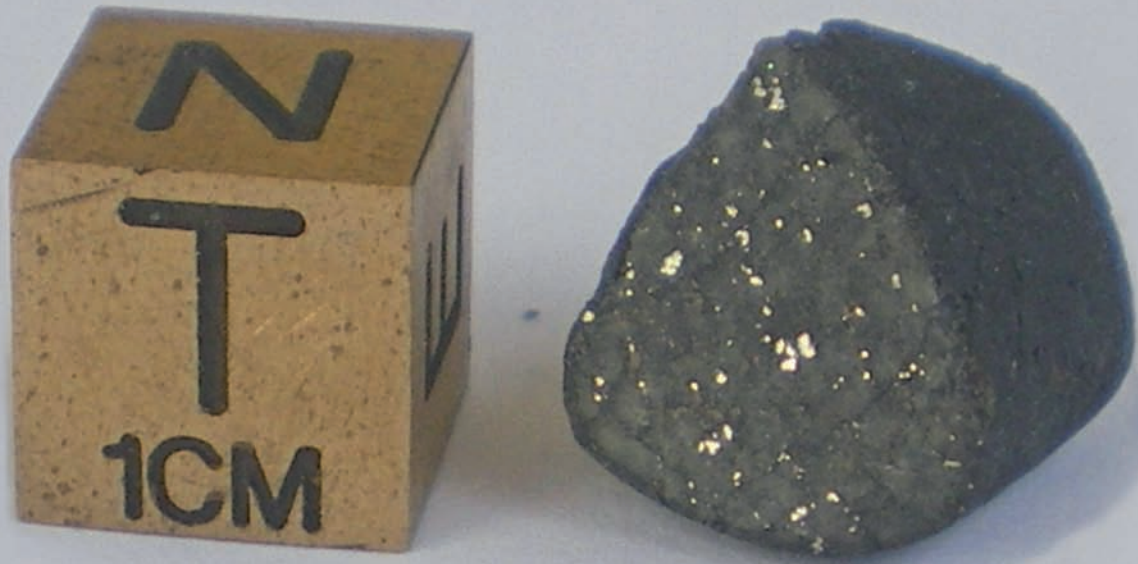


El meteorito *Ardón*, al lado de un cubo de escala de 1 cm de lado. (Excepto donde se indique, todas las imágenes son cortesía de los autores)



Ardón

LA INESPERADA RECUPERACION DE UN METEORITO CAÍDO EN 1931

Ardón, el meteorito caído en 1931 en León y que ha permanecido oculto hasta ahora.

CARLES E. MOYANO CAMBERO, JOSEP M. TRIGO RODRÍGUEZ Y JORDI LLORCA

El 19 de julio de 1931, alrededor de las nueve y veinte de la mañana, un sorprendente bólido se dejó ver sobre la provincia de León. La reconstrucción aproximada de la trayectoria (Figura 1) indica que la bola de fuego atravesó en diagonal la provincia y su paso fue acompañado por el sonido de varias explosiones, producidas al profundizar en la atmósfera a velocidad hipersónica. Tales estallidos fueron audibles desde la capital de la provincia y en otras localidades, como por ejemplo Cistierna y Boñar. Los periódicos locales de la época recogen el testimonio de lo sucedido, y la bola de fuego fue ampliamente observada. Sin embargo, la casualidad hizo que solo una persona recuperase una minúscula parte del cuerpo que se había desintegrado en la atmósfera y había llegado hasta el suelo en forma de meteorito. Poco después de los estallidos, Rosa González Pérez, por entonces una niña de once años que paseaba por las calles de la localidad de Ardón, vio caer ante ella una pequeña piedra de color negro y la recogió, notando que todavía estaba caliente (Figuras 2 y 3). Si bien no comprendió plenamente la relación entre lo que acababa de suceder en el cielo y lo que tenía entre sus manos, decidió guardar la piedra como recuerdo de aquel día. Y así, pese a que su

Rosa mantuvo aquel meteorito sorprendentemente bien conservado en el interior de una caja, hasta que 83 años después su existencia fue desvelada

familia no dio mayor importancia al asunto, Rosa mantuvo aquel meteorito sorprendentemente bien conservado en el interior de una caja, hasta que 83 años después su existencia fue desvelada a nuestro equipo. De hecho, el párroco del pueblo parece ser que advirtió, al ver la pie-

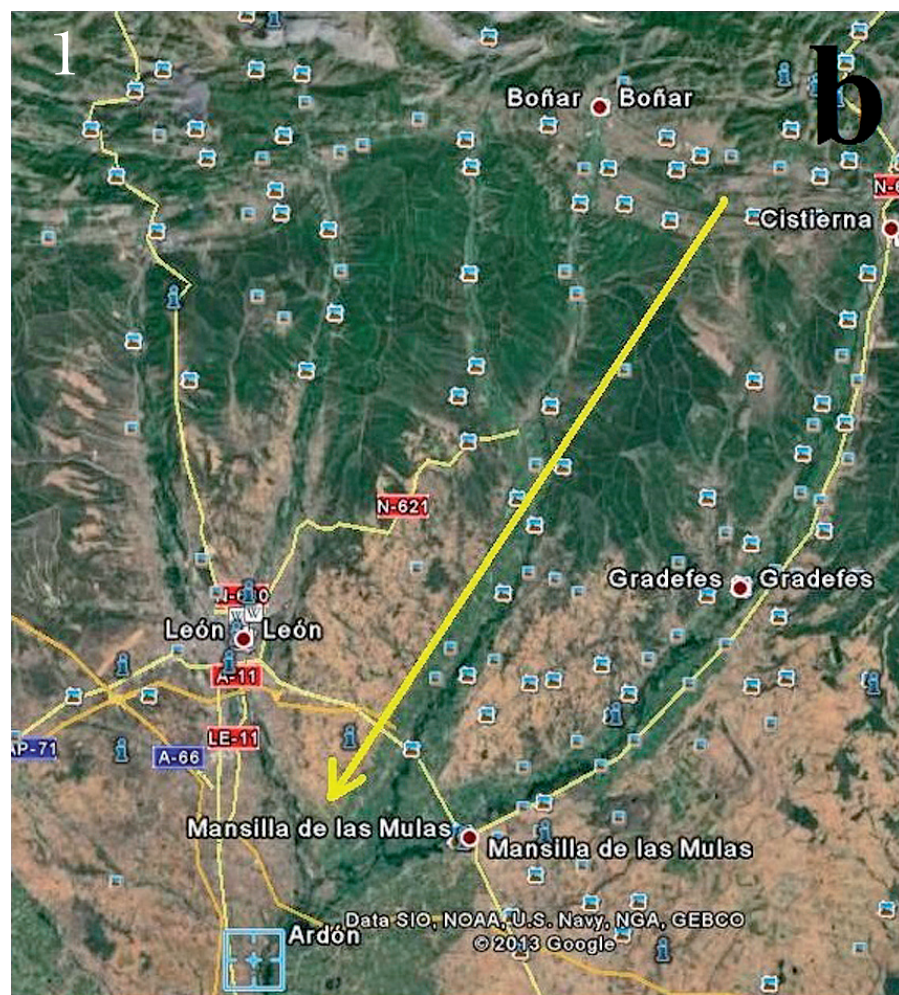


Figura 1. Reconstrucción tentativa de la trayectoria seguida por el meteorito Ardón, a partir de los datos recopilados de testigos y periódicos. La imagen de fondo corresponde a una carta con los símbolos característicos de Google Earth.

dra poco después de ser recogida, que se trataba de un meteorito. Sin embargo, fue José Antonio González, sobrino de la mujer de 94 años que en su momento recogiera aquella piedra caída del cielo, quién se planteó, tras conocer la historia, que tal vez todo aquello pudiera tener importancia para la comunidad científica, e incluso para su pueblo y el conjunto del país. Los importantes trabajos realizados en los últimos años para incrementar el interés del público sobre los meteoritos, así como

sucesos tan impresionantes como el superbólido acontecido el 15 de febrero de 2013 en las proximidades de la localidad de Cheliábinsk, en Rusia, llevaron a José Antonio a informar al Instituto de Ciencias del Espacio (CSIC-IEEC) acerca de la existencia de esa roca. Aunque des-

conocemos si más fragmentos fueron recuperados tras la caída, este meteorito de apenas cinco gramos y medio nos ha proporcionado multitud de información sobre el objeto que, aquel veraniego jueves de 1931, se fragmentó en nuestra atmósfera sorprendiendo a los habitantes de la provincia de León.

ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Así pues, tras llegar a la conclusión de que esa roca caída del cielo podía tener un cierto interés, José Antonio González se puso en contacto con nosotros. Nos contó la historia de lo acontecido más de ochenta años atrás y generosamente cedió el ejemplar para ser analizado. Así fue como llegó hasta nosotros el meteorito del que empezamos un análisis en profundidad con tal de caracterizarlo, profundizar en su origen, y



darle un nombre a través de la *Meteoritical Society* (organismo internacional que gestiona una base de datos con todos los meteoritos adecuadamente clasificados). Asimismo emprendimos un estudio para redescubrir la historia de su caída, hoy en día prácticamente olvidada. La búsqueda de información sobre el bólido dio como resultado el hallazgo de varios documentos de prensa que recopilaban el suceso, siendo los que siguen los más significativos. Según el *Diario de León*, la bola de fuego pudo ser observada sobre Valdelinares, y en el suelo de la localidad pudo notarse una vibración en el suelo (como consecuen-

Ardón pertenece a la familia de las condritas ordinarias, que constituyen el grupo de meteoritos cuya caída es más común

cia de la explosión del bólido, una onda de choque golpea el suelo y lo hace vibrar, como si se tratara de un terremoto de baja intensidad). El *Diario Gaditano* describe vibraciones parecidas en las localidades de Cisterna y Boñar, que aparentemente vieron el bólido desde lados opuestos, según el *Diario de León* y el *La Independencia*, por lo que debió pasar en medio de estas dos localidades. Es gracias a estas publicaciones,

además de los testimonios de personas como Rosa, que podemos reconstruir la trayectoria seguida por el bólido, a pesar de que las descripciones son demasiado vagas como para hacerlo con precisión (Trigo-Rodríguez *et al.*, 2014). De este modo, pensamos que lo más razonable es que el bólido cruzase el cielo entre Cisterna y Boñar, en dirección a la localidad de Ardón, cerca de la cual terminó la trayectoria luminosa del cuerpo.

La clasificación y caracterización del meteorito las realizamos junto a Mona Weyrauch y Addi Bischoff, del Institut für Planetologie de Münster (Alemania). La elaboración de las

láminas delgadas (secciones del meteorito de unas 30 micras de grosor) hizo evidente que la roca había sido muy bien conservada, pues la presencia de óxidos generados por alteración terrestre era ínfima. Como resultado de guardarla en un pequeño joyero durante tantos años, apenas se había visto alterada por el agua o la humedad de nuestra atmósfera. Esto puede ser de vital importancia, ya que permite estudiar las condiciones del objeto antes de que entrara en nuestra atmósfera. Además, el estudio de núcleos radioactivos en la muestra permitió confirmar que había pasado un tiempo relativamente corto en la Tierra, por lo que puede ser considerado una caída reciente.

Por el contrario, la mayoría de meteoritos recuperados han estado en nuestro planeta durante miles o decenas de miles de años.

En el proceso de clasificar un meteorito se comprueban distintas características del mismo, por medio de técnicas muy variadas. Normalmente se toman algunas muestras para llevar a cabo los análisis, ya sea en forma de polvo, pequeños fragmentos, o láminas delgadas de grueso muy inferior a un milímetro. Los fragmentos y el polvo pueden usarse para conocer la composición elemental de la muestras, siempre que el fragmento escogido sea lo bastante representativo, así como para obtener detalles del contenido en determinados minerales. Las láminas delgadas tienen muchas utilidades. Tras realizar un mapa mediante un microscopio petrográfico, podemos estudiar la sección en detalle y seleccionar las áreas de interés, que más adelante analizaremos con técnicas más especializadas, como el microscopio electrónico o el espectrómetro Raman.

En este caso, los datos reunidos tras los análisis permitieron clasificarlo como una condrita ordinaria de tipo L6. Para entender lo que eso significa primero hay que saber que las condritas son meteoritos primitivos procedentes de asteroides no diferenciados. Eso significa que son cuerpos que han conservado el material del que se formaron duran-

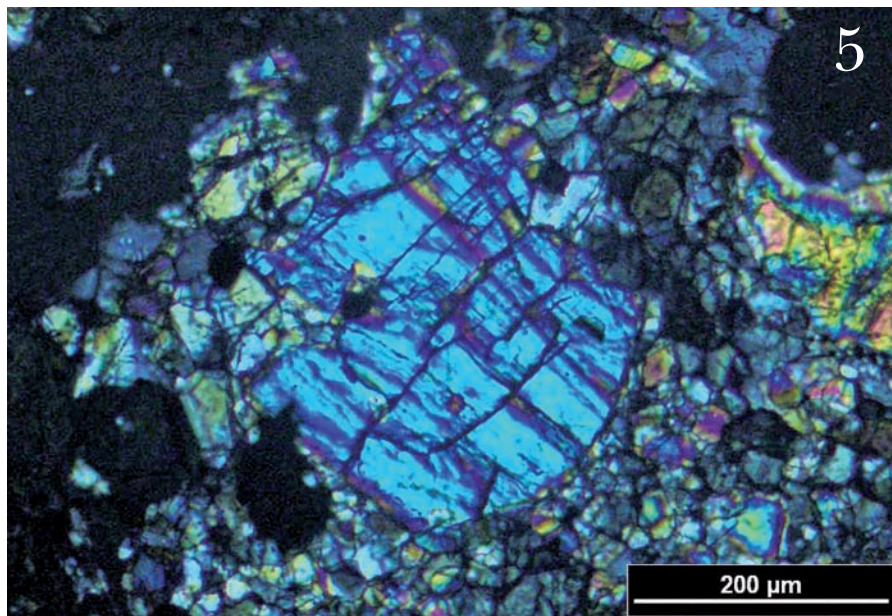
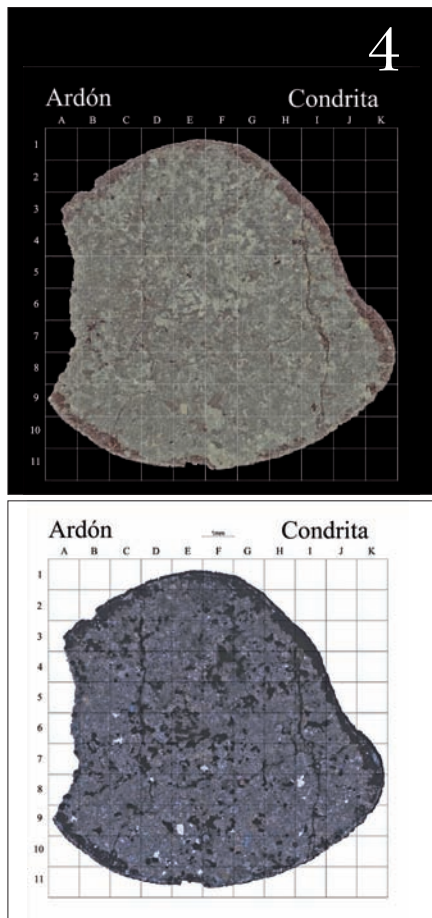


Figura 2. El meteorito Ardón, junto a una moneda, para comparar el tamaño. **Figura 3.** Rosa González Pérez, descubridora del meteorito, en el mismo lugar de Ardón donde lo encontró. (Foto J. A. González). **Figura 4.** Mosaicos de alta resolución de una lámina delgada de Ardón, creados tomando fotografías mediante el microscopio. La imagen superior se obtiene mediante la luz reflejada por la muestra, mientras que la inferior es la luz transmitida al iluminar la lámina desde atrás. **Figura 5.** Imagen de microscopio petrográfico de un cóndrulo de olivino, en una de las láminas delgadas de Ardón. El cristal muestra diversas fracturas debido al grado de choque experimentado por la roca.

te los primeros millones de años del Sistema Solar, pues no han llegado a fundirse debido al calor a diferencia de lo que ocurre con los meteoritos provenientes de la Luna o Marte (Trigo-Rodríguez, 2012). Unas pequeñas esferas llamadas cóndrulos, que son algunos de los materiales más antiguos del Sistema Solar, son las que dan nombre a este tipo de meteoritos, y se dividen en varios grupos. Uno de ellos es la de las condritas ordinarias, que se llaman así no porque no sean tan sorprendentes o especiales como cualquier otro meteorito, sino porque son el tipo más abundante recuperado en la Tierra. De hecho, suman un total cercano a las 44 000 muestras, lo que supone aproximadamente un 80 % de los meteoritos conocidos. La L significa que, dentro de las condritas ordinarias, esta pertenece al grupo que se caracteriza por un menor contenido en hierro y bajo contenido en metal, a diferencia de las H, que tienen un alto contenido en hierro, o las LL que, a pesar de tener un bajo contenido en hierro y metal, contienen más óxido de

hierro en silicatos que las L. El número que se indica tras la familia al clasificar un meteorito (en este caso el 6), nos indica el tipo petrográfico. El hecho de que sea clasificado específicamente como L6 es indicativo de un grado elevado de alteración por metamorfismo térmico, que es el cambio de los minerales producido en una roca debido al calor pero sin que lleguen a fundirse (a temperaturas entre 200 y 850° C). Un grado petrológico 1 sería indicativo de bajas temperaturas y de alteración por efecto del agua, pero no por metamorfismo térmico. Por el contrario un grado 6, como en el caso de Ardón, implica altas temperaturas y, por lo tanto, homogeneización química y recristalización de sus componentes, y la mayoría de cóndrulos de la muestra son apenas reconocibles. Por otro lado, se le asignó un grado de choque de S3, lo que significa que, en su historia previa a la llegada a nuestro planeta, esta muestra particular recibió una cantidad de presión moderada debido a los impactos, ya fuera porque el cuerpo del que pro-

viene no sufrió grandes impactos o porque se encontraba en una zona relativamente alejada o protegida de las ondas de choque.

¿CAÍDA O HALLAZGO?

Una vez el meteorito había sido reconocido y clasificado comenzaba un nuevo reto para el equipo. La información completa debía llegar a la *Meteoritical Society*, que como ya se ha mencionado es el organismo que se encarga de darles nombre oficialmente y de gestionar una base de datos con un recopilatorio de todas las muestras conocidas. Esta contiene un resumen de los estudios y análisis realizados sobre los meteoritos, y es accesible en la web www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php. Aparte del tipo al que pertenecen, los meteoritos se distinguen entre caídas y hallazgos. La gran mayoría de los que conocemos han sido recuperados miles de años después de su caída y, de hecho, existen programas que se dedican a la búsqueda de meteoritos antiguos en los desiertos. La preferencia por este tipo de terrenos se debe a que la escasa

TABLA 1

Meteorito	Año	Comunidad	Tipo	Masa (g)
Oliva-Gandía	1520	C. Valenciana	Rocoso sin clas.	-
Barcelona	1704	Catalunya	OC	-
Sena	1773	Aragón	H4	4000
Berlanguillas	1811	Castilla y León	L6	1440
Barea	1842	La Rioja	Mesosiderita, A1	3200
Nulles	1851	Catalunya	H6	5000
Oviedo	1856	Asturias	H5	205
Molina	1858	C. Murcia	H5	144 000
Cañellas	1861	Catalunya	H4	945
Sevilla	1862	Andalucía	LL4	180
Cangas de Onís	1866	Asturias	H5	34 000
Cabeza de Mayo	1870	Murcia	L/LL6	25 000
Roda	1871	Aragón	Diogenita	400
Guareña	1892	Extremadura	H6	39 000
Los Martínez	1894	C. Valenciana	L6	25
Madrid	1896	C. Madrid	L6	400
Quesa	1898	C. Valenciana	Metálico, IAB	10 750
Olivenza	1924	Extremadura	LL5	150 000
Ojuelos Altos	1926	Andalucía	L6	5850
Olmedilla de Alarcón	1929	Castilla-La Mancha	H5	40 000
Ardón	1931	Castilla y León	L6	5,5
Reliegos	1947	Castilla y León	L5	17 300
Villalbeta de la Peña	2004	Castilla y León	L6	3500
Puerto Lápice	2007	Castilla-La Mancha	Eucrita-br	500

Tabla 1. Caídas acontecidas en España reconocidas por la *Meteoritical Society*. La de Ardón aparece marcada en negrita. Es de remarcar la relativa ausencia de caídas durante el siglo XX. En particular pasaron 57 años entre la caída de Reliegos y la recuperación de Villalbeta de la Peña.

presencia de vegetación y otros factores que pudieran dificultar la visión facilita su búsqueda. Además, en estas zonas las condiciones son más favorables, al ser ambientes de menor humedad y por ello menos agresivos para las muestras. Un ejemplo es el programa de *Búsqueda Antártica de Meteoritos (ANSMET)*, por sus siglas en inglés), que como su nombre indica se dedica a la búsqueda de meteoritos en la Antártida, pero también se buscan activamente en zonas como el desier-

to del Sahara o el de Atacama. Los meteoritos recuperados de este modo son de gran interés para la ciencia, al fin y al cabo representan un porcentaje muy alto de las muestras de que disponemos de otros cuerpos del Sistema Solar. Sin embargo, la mayoría han estado en la Tierra durante miles de años, por lo que a pesar de estar en desiertos han sufrido un grado muy importante de alteración debido a las condiciones de temperatura y humedad variable en la superficie terrestre.

Por otro lado están los meteoritos cuya caída ha sido presenciada, que representan menos de un 2 % del total. Estos objetos pueden ser recuperados con relativa brevedad después de su caída, lo que permite que se conserven casi a la perfección. Es por ello que estas muestras son más valoradas desde el punto de vista de la investigación, pues mantienen en términos generales las propiedades previas a su entrada en nuestra atmósfera, sin apenas contaminación terrestre.

En el caso de Ardón la caída tuvo lugar hace más de 80 años, así que la distinción entre hallazgo y caída no estaba clara. El análisis de radioisótopos de corta vida realizado en los Laboratorios del Gran Sasso en Italia por Matthias Laubenstein, permitió precisar que la caída se produjo hace entre 10 y 500 000 años. Esa evidencia, junto a los datos de los periódicos de la época y al hecho de que se había conservado en unas condiciones excelentes como corresponde a una caída reciente, permitió corroborar la historia de Rosa González. El trabajo, que suma una buena labor detectivesca, propició que la *Meteoritical Society* le asignase al meteorito la categoría de caída y le proporcionase oficialmente el nombre de Ardón.

ARDÓN: UN LEGADO DEL ORIGEN DE NUESTRO SISTEMA SOLAR

Como se ha mencionado, Ardón pertenece a la familia de las condritas ordinarias, que constituyen el grupo de meteoritos cuya caída es más común. De hecho, hay registradas alrededor de cuatrocientas caídas de condritas ordinarias de tipo L, catalogadas en el Boletín Meteorítico de la *Meteoritical Society*. La más antigua conocida es la de la condrita Nogata, en Japón, en el año 861, pero en realidad son muy poco comunes los casos de caídas confirmadas y conservadas desde hace tanto tiempo, situándose la gran mayoría en los últimos tres siglos. Es gracias a la abundancia de este tipo de meteoritos que nos podemos hacer una idea más precisa de su origen y de las características de los asteroi-

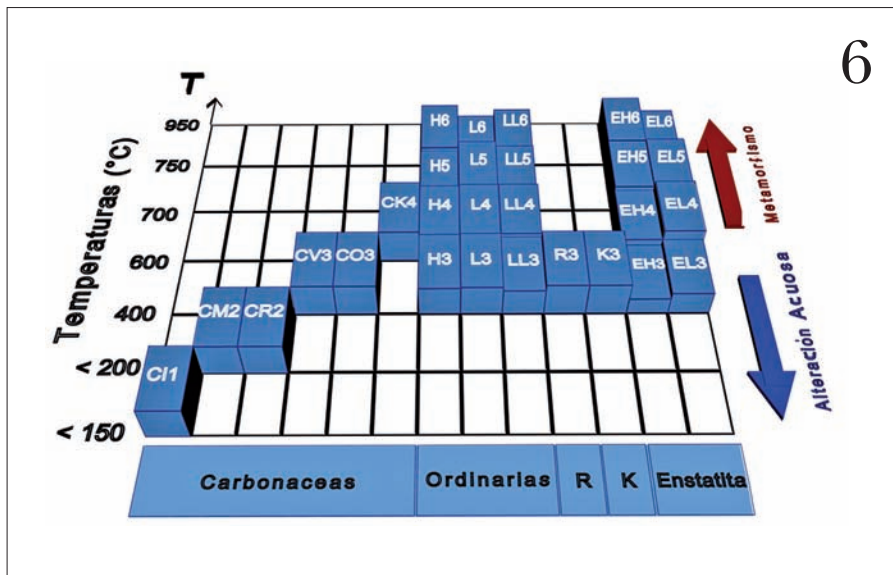
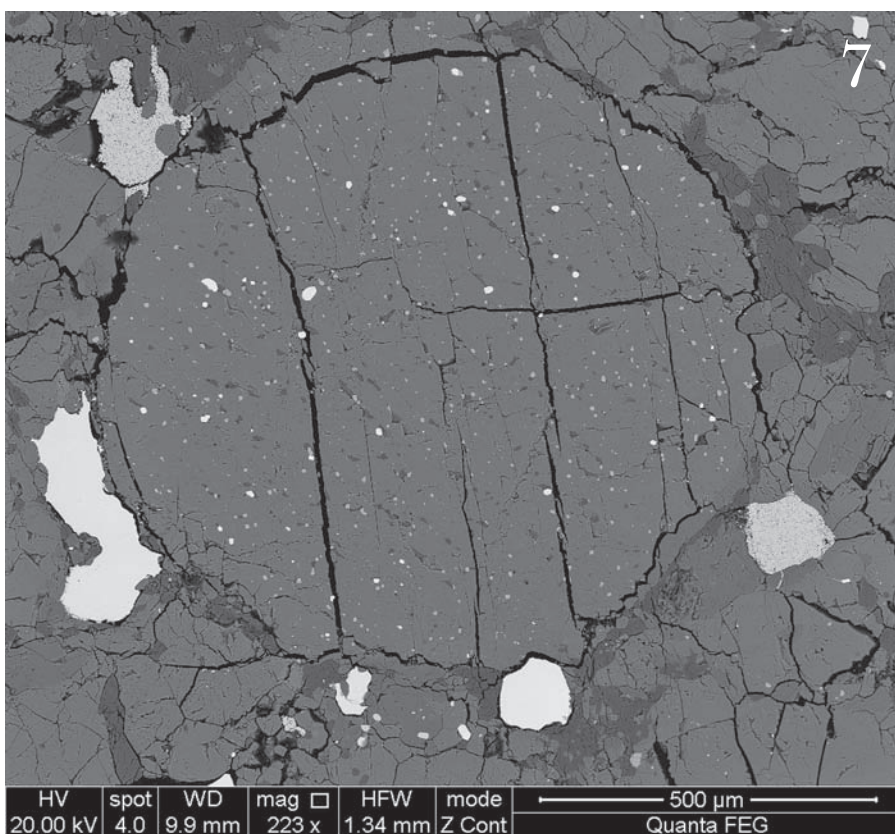


Figura 6. Diagrama mostrando las diferentes familias de condritas conocidas, ordenadas en función de su tipo petrológico. En temperaturas bajas se da mayoritariamente el efecto conocido como alteración acuosa, sobre todo en los tipos petrológicos 1 y 2. A mayores temperaturas es mucho más notable el efecto del metamorfismo térmico, aumentando entre los tipos 4 y 6. El tipo petrológico 3 corresponde a muestras que apenas han sufrido uno u otro efecto. (Cortesía E. Dotto)

Figura 7. Uno de los cóndrulos de Ardón visto mediante microscopio electrónico.



de este tipo de meteoritos que conocemos, el asteroide del que provienen no tiene por qué ser de un tipo común. Tras calcular la Edad de Exposición a los Rayos Cósmicos (CREA, por sus siglas en inglés), indicativo del tiempo que transcurrió entre que la muestra abandonó su cuerpo original hasta que entró en nuestra atmósfera, se extrajo que el cuerpo progenitor debió sufrir varias colisiones de cierta potencia en los últimos cuarenta millones de años. Esto produjo una gran cantidad de fragmentos que, tras ser lanzados desde el cinturón principal de asteroides mediante mecanismos dinámicos conocidos como resonancias, alcanzan nuestra atmósfera. Estos mecanismos son los mismos que traen a las proximidades de nuestro planeta a los Asteroides Próximos a la Tierra (NEA, por sus siglas en inglés). Así, más que provenir de un cuerpo perteneciente a un tipo abundante, podría ser que Ardón (y por extensión las demás condritas ordinarias) tenga su origen en un cuerpo menos habitual pero situado en el Sistema Solar en una zona en la que las resonancias sean comunes y fuertes. En ese sentido, una familia colisional que ha sido propuesta para explicar la masiva llegada de condritas ordinarias de clase L es la del asteroide 1272 Gefion.

LOS METEORITOS DESAPARECIDOS

En nuestro trabajo reciente en la revista *Meteoritics & Planetary Science* también planteamos dudas sobre el

des de los que provienen.

En el caso de Ardón podemos saber que tiene su origen en un cuerpo progenitor que, a causa de sus dimensiones relativamente grandes, alcanzó temperaturas lo bastante altas para producir metamorfismo térmico y alterar sus materiales, sin llegar a fundirlos por completo. A pesar de que el grado de alteración es elevado, este meteorito preserva cóndrulos. Estos materiales se consolidaron en los principios de nuestro Sistema Solar, hace unos 4560 millones de años, por lo que sabe-

mos que el asteroide del que proviene este meteorito es primitivo. Además, incluye silicatos, sulfuros y otros metales, contenido común de la mayoría de meteoritos (si bien en diferentes proporciones) pero también de cuerpos de mayores dimensiones, como la Tierra. A pesar de toda la información que hemos recopilado sobre Ardón, y la que se conoce del cuerpo progenitor de las condritas de tipo L, descubrir de qué cuerpo provienen no es una tarea para nada trivial. Se cree que a pesar de la gran abundancia



Figura 8. La sala dedicada a meteoritos del Museo Nacional de Ciencias Naturales, donde una sección gruesa de 0,3 g de Ardón ha quedado expuesta al público.

destino de muchos otros meteoritos caídos en España (Trigo-Rodríguez *et al.*, 2014). Pese al interés científico que el estudio de estas rocas conlleva, podría darse el caso de que una buena parte de las caídas acaecidas durante el último siglo no hayan visto la luz. Si nos basamos en los cálculos del flujo de meteoros que se extraen de las redes de bólidos, en España continental debería darse cada año la caída de entre uno y dos meteoritos con una masa terminal superior a 1 kg, debido a su superficie de alrededor de 500 000 km². Sin embargo, en este país las estadísticas de recuperación de meteoritos muestran cifras muy inferiores: mientras que en el siglo XIX se recuperaron catorce meteoritos, en el siglo XX fueron solo cinco, y cuatro de ellos antes de la Guerra Civil (véase Tabla 1).

Muy a menudo los meteoritos no se recuperan porque jamás llegan a encontrarse, debido a la multitud de dificultades que presenta la búsqueda de los mismos. De hecho, y a pesar de los bólidos sorprendentemente brillantes que un cuerpo lo bastante grande como para producir meteoritos genera al entrar en nuestra atmósfera, la fragmentación y desintegración a causa de este proceso es tal que objetos de cientos de quilos se pueden ver reducidos a varios fragmentos con

un tamaño de pocos centímetros. Estas rocas, que normalmente están recubiertas de una capa negra de material fundido que se produce al travesar la atmósfera (conocida como corteza de fusión), son relativamente fáciles de reconocer para un ojo entrenado en un terreno despejado. Sin embargo, encontrarlas en un bosque denso o terreno cultivado, por ejemplo, puede ser prácticamente imposible. Desde 1999 la Red de Investigación sobre Bólidos y Meteoritos (SPMN por sus siglas en inglés) estudia los bólidos que sobrevuelan España, reconstruye sus órbitas e intenta comprender su naturaleza,

Ardón es una condrita de tipo L6, procedente de un asteroide que se formó durante los primeros millones de años del Sistema Solar

así como calcular si puede haberse producido un meteorito y, en caso afirmativo, recuperarlo. En la última década mediante la infraestructura de la Red SPMN pudieron recopilarse vídeos e imágenes casuales de caídas diurnas como Villalbeto de la Peña (en 2004) y Puerto Lápice (en 2007) lo que permitió reconstruir sus trayectorias y órbitas así como coordi-

nar su recuperación (Llorca *et al.* 2005, 2009; Trigo-Rodríguez *et al.*, 2006, 2009). La anterior caída y recuperación registrada corresponden al meteorito Reliegos, caído en ese pueblo leonés en 1946.

Por otro lado, es evidente que el conocimiento y el interés del público por este y otros campos de la ciencia se han incrementado en gran medida en las últimas décadas, gracias al acceso mucho más rápido y generalizado a la información. La Red SPMN también ha contribuido con su página web y el acceso que proporciona en ella a artículos de divulgación sobre el área: www.spmn.uji.es. El mayor conocimiento

sobre esta área de oportunidad para la investigación de nuestros jóvenes en las ciencias plan-

netarias ha propiciado la colaboración general en las recuperaciones tras las caídas. Pero años atrás la situación era distinta, y muchas personas no comprendían la importancia que los meteoritos recuperados tras uno de estos eventos pueden tener para la comunidad científica. De este modo, es posible que a lo largo de los últimos siglos otros meteoritos hayan

compartido el destino de Ardón, siendo recuperados por un testimonio casual y guardados como recuerdo durante generaciones. En ocasiones estas muestras son vendidas a colecciones privadas, muchas veces sin ser debidamente reconocidos como meteoritos españoles. En este sentido, la Ley de Patrimonio Geológico de 2007 apoya a la comunidad científica y al interés general dictaminando que los meteoritos encontrados en el territorio nacional deben ser preservados y permanecer en el país. Este es el caso de Ardón, que gracias a la colaboración de Rosa, que lo encontró y lo guardó durante 83 años, y su familia, hoy hemos podido analizarlo y una parte significativa ha quedado para su estudio científico y difusión. En el Museo Nacional de Ciencias Naturales residirá una sección de ese meteorito, justo en la sala abierta al público que acoge todos los meteoritos españoles preservados has-

ta nuestros días (Figura 8), el resto se lo ha quedado la familia. Esperemos que el caso de Ardón vaya seguido de otros acontecimientos similares en el futuro.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer a Rosa González Pérez y a José Antonio González la cesión de la condrita Ardón para su estudio y caracterización. Todo este trabajo de identificación y caracterización se ha realizado en el marco del Proyecto AYA 2011-26522 sufragado por el MICINN. (A)

REFERENCIAS

- * Llorca, J. et al. (2005), «The Villalbeto de la Peña meteorite fall: I. Fireball energy, meteorite recovery, strewn field and petrography», *Science*, 40, 795-804.
- * Llorca, J. et al. (2009), «The Puerto Lápice eucrite», *Meteoritics and Planetary Science*, 44, 159-174.

* Trigo-Rodríguez, J. M. et al. (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. et al. (2009), «Puerto Lápice eucrite fall: strewn field, physical description, probable fireball trajectory and orbit», *Meteoritics and Planetary Science*, 44, 175-186.

* Trigo-Rodríguez, J. M. et al. (2014), «The Ardón L6 ordinary chondrite: A long-hidden Spanish meteorite fall», *Meteoritics & Planetary Science*, 49, 1475-1484.

Carles E. Moyano Cambero y Josep M. Trigo Rodríguez (Grupo de Meteoritos, Cuerpos Menores y Ciencias Planetarias, Instituto de Ciencias del Espacio, CSIC-IEEC). **Jordi Llorca** (Institut de Tècniques Energètiques i Centre de Recerca en Nanoenginyeria, Universitat Politècnica de Catalunya).
