

La roca de Getafe: trayectoria de caída, efectos del impacto y marcadores morfotexturales de vuelo

The Getafe rock: trajectory of fall, effects of the impact, and morpho-textural evidence of flight

J. Martínez-Frías

Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC), José Gutiérrez Abascal, 2, 28006 Madrid

ABSTRACT

On 21st June, 1994, at approximately 12 noon local time, a rock, weighing 1.417 kg and measuring 18 x 8.5 x 8 cm, struck a car, which was travelling south on the Madrid-Andalucía road (Getafe city, south Madrid). This area is open country made up of marls, gypsum beds and claystones, without bridges or other high places from which the rock could have been thrown. The incident was spectacular. The rock impacted the car at about 30° from the horizontal and hit the steering wheel and the driver's right hand with such force that the steel wheel was deformed. This work constitutes the first contribution on the study of the Getafe rock (GR), displaying a detailed analyses of the trajectory of fall, effects of impact and morphotextural evidence of flight. The GR is a semi-oriented specimen (apex angle 75°), with an external scoriaceous texture which resembles either an industrial slag or the highly vesicular «scoriaceous-type» micrometeorites (AM10 and M4) which were recovered in Antarctica. It does not appear to have fusion crust, although textural and colour differences exist between its external and internal parts. At least two different systems of friction striae as well as two types (milky and dark) of droplet-globules (100 m-500 m) were found scattered on its frontal, smooth surface. Some of these show presence of impact microcraters. Although the circumstances surrounding the fall are very well documented and despite clear evidence of flight were found, the GR does not exactly match any of the previously classified meteorites nor any known rocks (terrestrial or extraterrestrial).

Key Words: Getafe rock, fall, impact, evidence of flight, Madrid

Geogaceta, 25 (1999), 215-218

ISSN: 0213683X

Introducción

El 21 de junio de 1994, aproximadamente a las 12 del mediodía, una roca de casi 1,5 Kg., impactó violentamente, en trayectoria descendente, contra un automóvil que se dirigía—a una velocidad de unos 100 Km/h—, de Madrid a Andalucía (Figs. 1A y 1B). El choque se produjo dentro del término municipal de Getafe, en el kilómetro 17 de la N-IV. Prácticamente todos los medios de información y prensa (radio, televisión, periódicos) nacionales y otros extranjeros (BBC, The European, Sky and Telescope) se hicieron eco de la noticia, considerándola como la probable caída—en este caso muy bien documentada—, de un meteorito sobre Madrid. Tras la realización de diversas gestiones con objeto de su recuperación, la roca fue donada al Museo Nacional de Ciencias Naturales al día siguiente de la caída, el 22 de junio de 1994, y registrada en la biblioteca de dicho Museo el 5 de julio como:

roca de posible origen meteorítico procedente de Getafe (Martínez-Frías, 1994, 1995). De acuerdo con los registros históricos, este supuesto meteorito correspondería a la segunda caída registrada en Madrid (la primera tuvo lugar el 10 de febrero de 1896, Gautier, 1897), y uno de los escasísimos ejemplos de meteoritos que han producido daños a personas. Además, se trataría del único meteorito en el mundo que ha colisionado con un objeto en movimiento.

Aunque diversos medios de comunicación y revistas de divulgación científica han abordado este caso, el trabajo que aquí se presenta constituye la primera contribución científica sobre este evento. En él se lleva a cabo el análisis de la trayectoria de caída y los efectos del impacto, considerando otros casos excepcionales similares de caídas meteoríticas, que han tenido consecuencias directas sobre personas, animales o cosas. Además, se especificarán aquellos aspectos del espé-

cimen que, directa o indirectamente, están relacionados con su supuesto vuelo y posterior caída: especialmente su morfología semi-orientada y sus características texturales superficiales, entre las que destaca el hallazgo de estrías poco desarrolladas y microsferas vítreas diseminadas en su superficie.

Trayectoria de caída y efectos del impacto

Cuando un cuerpo extraterrestre se acerca a nuestro planeta, posee una energía muy elevada; energía potencial dada su posición sobre la superficie de la Tierra y energía cinética debida a su velocidad. Se ha estimado que la velocidad de un meteorito cuando alcanza la Tierra es de unos 72 Km/s. Desde el momento en que entra en la atmósfera su velocidad comienza a disminuir hasta llegar a la denominada zona de retardo, a partir de la cual su trayectoria es casi un descenso

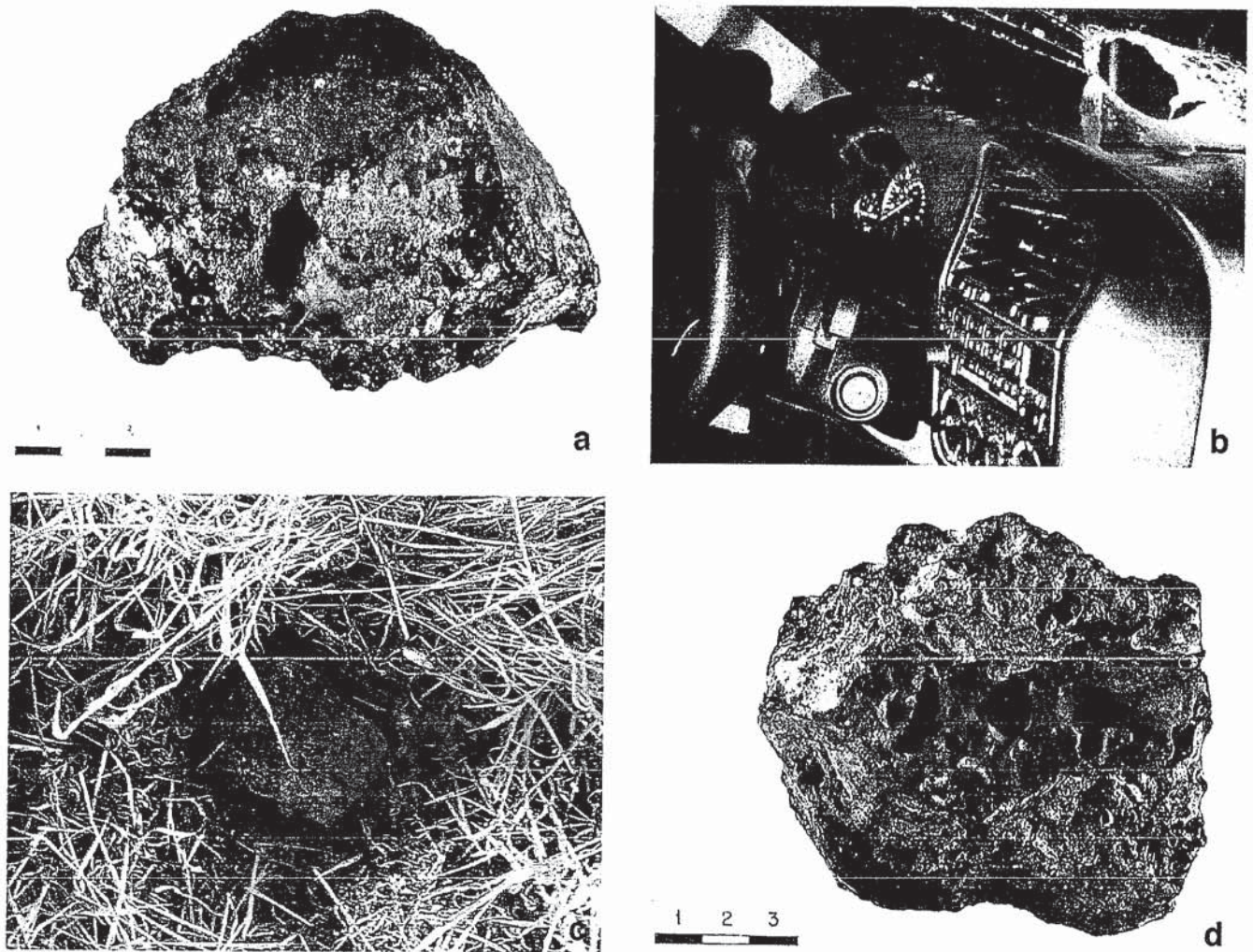


Figura 1: A) Roca de Getafe. Obsérvese su morfología semiorientada. B) Daños producidos por el impacto de la roca de Getafe en la parte delantera del automóvil. Obsérvese la morfología del orificio de entrada por el parabrisas, prácticamente idéntica a la de la roca, y los daños producidos en el salpicadero y en el volante que fue considerablemente deformado. C) Posible «hallazgo» encontrado en campo abierto a unos 100 m de la zona de impacto. D) Superficie posterior de la roca de Getafe, donde se observa su aspecto mucho más vacuolar y en la que se pueden apreciar mejor las diferencias entre su superficies exterior e interior.

vertical regido exclusivamente por la gravedad y la resistencia del aire, con velocidades terminales de caída de entre 120 y 200 m/s. En casos excepcionales dichas caídas se producen en lugares habitados, y tal y como se recoge en Spratt y Stephens (1992) y Martínez-Frías y Ruiz de Elvira (1998), durante los últimos 200 años se dispone de un registro histórico detallado en el que edificios, tanques de agua, invernaderos, coches, caballos, perros e incluso seres humanos han sido golpeados por meteoritos. Entre todos ellos, destaca por su singularidad el impacto meteorítico sufrido el 30 de noviembre de 1954 por Annie Hodges en Sylacauga, Alabama (EEUU), hasta el momento el único caso reconocido y aceptado en que una roca de origen extraterrestre finaliza su viaje interplanetario impactando contra una persona. El meteorito, una condrita de casi 4 Kg, atravesó el techo del autobús donde se encon-

traba descansando y la hirió en un brazo y una pierna. Algunos animales no fueron tan afortunados. Un meteorito cayó en New Concord (Ohio, EE UU) el 1 de mayo de 1860 mató a un caballo, y un perro en Nakhla (Egipto) murió el 28 de junio de 1911 como consecuencia del impacto de un meteorito de supuesto origen marciano. A lo largo de este siglo, hay más de 25 casos documentados de meteoritos, que, si bien no llegaron a estrellarse directamente en seres humanos, sí pasaron muy cerca de ellos. Por ejemplo en Pollen (Noruega) el 6 de abril de 1942, un meteorito cayó a tan solo 1 metro de una persona, o en Noblesmille, Indiana (EEUU), el 31 de Agosto de 1991, una condrita ordinaria cayó a tan sólo 3,5 metros de Brodie Spaulding, un niño de 13 años que estaba montando en bicicleta.

En el caso que nos ocupa, varios aspectos han confluído para que las circunstancias de caída de la roca de Getafe (RG)

puedan estar bien documentadas, y el análisis de su trayectoria y efectos del impacto hayan podido establecerse de forma rigurosa, sin las ambigüedades y contradicciones que suelen acompañar a otros casos de similares características: 1) el conductor del automóvil afectado por el impacto explicó de forma directa cómo sucedió el evento; 2) el turismo pudo ser examinado con detalle justo al día siguiente de la caída, y 3) se efectuó un estudio detallado del área de colisión y alrededores. Es importante tener en cuenta que: 1) la caída tuvo lugar en un área de campo abierto, sin puentes u otros lugares elevados desde donde pudiera haber sido lanzada. Además, la posibilidad de que la roca hubiera sido impulsada por otro vehículo en movimiento parece quedar descartada teniendo en cuenta que, según confirmó el conductor del automóvil, el tráfico era fluido y no habla otros vehículos cerca en ese momento, y 2) el

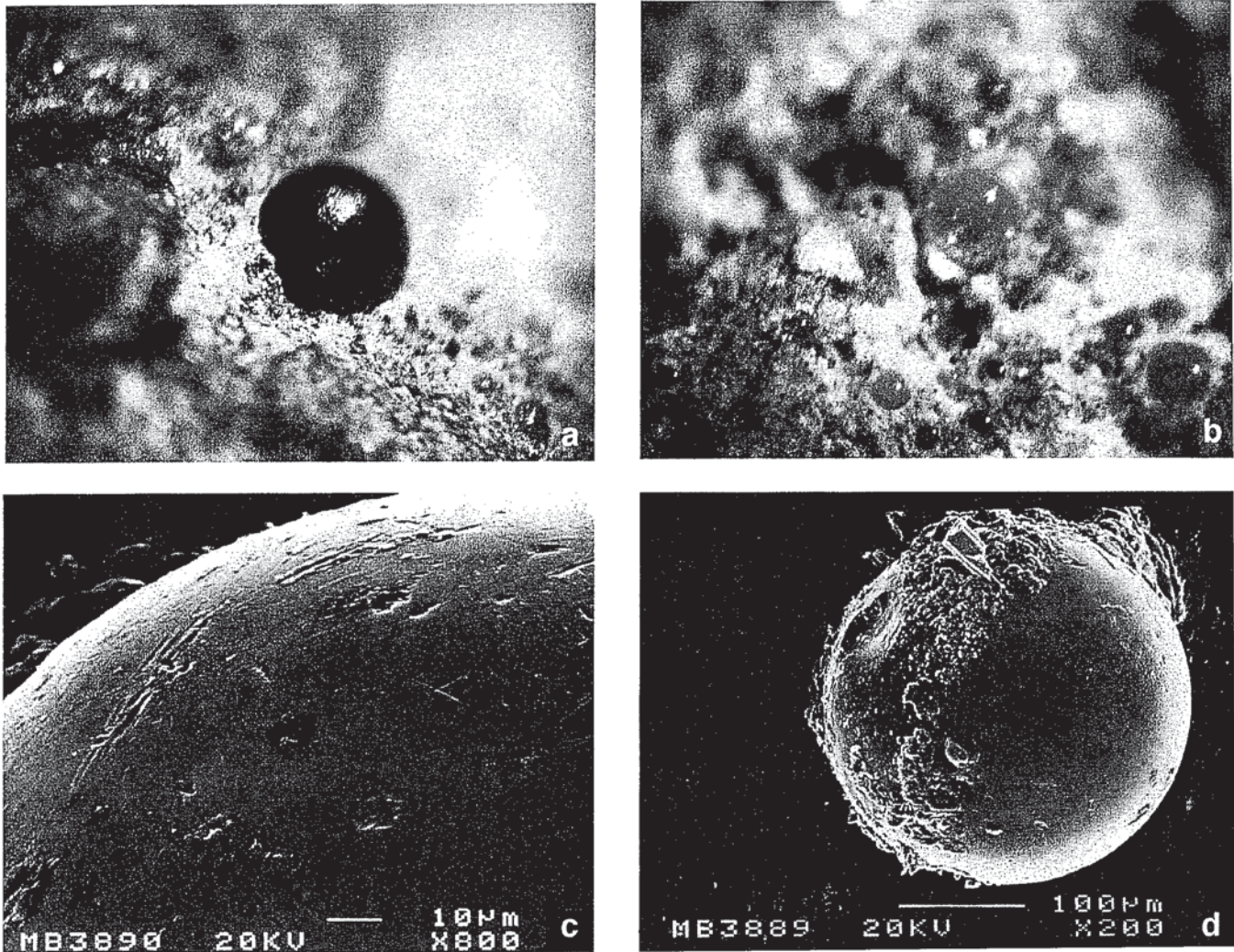


Figura 2: A) Detalle de una de las partículas esferoidales oscuras de 300 μm encontrada en la superficie anterior lisa de la roca de Getafe. B) Otros tipos de partículas esferoidales (transparentes y lechosas) presentes sobre la superficie de la roca de Getafe. La esfera de mayor tamaño de la fotografía tiene 200 μm . C) fotografía SEM de una de las esferas mostrando lineaciones y rozaduras sobre su superficie según varias direcciones. D) Microcráter en una de las esferas lechosas. Obsérvense las estrías del impacto.

área de Getafe donde se produjo el impacto no tiene litológicamente nada que ver con la composición de la RG.

El incidente fue realmente espectacular. La RG atravesó el parabrisas del automóvil, que en esos momentos viajaba a una velocidad de unos 100 Km/h, hiriendo al conductor en el proceso en su mano derecha. La trayectoria fue SE-NW y el ángulo de caída de aproximadamente 30° con respecto a la horizontal. El orificio producido fue casi idéntico a la forma del ejemplar, y estaba rodeado de un anillo blanquecino y pulverulento de aproximadamente 2 cm de ancho, y de un halo casi circular de fracturas radiales de unos 25 cm. En un principio este anillo se interpretó como resultado de fusión parcial del parabrisas (Fig. 1B) por el impacto, aunque estudios llevados a cabo en el Instituto de Cerámica y Vidrio de Madrid, revelaron que se trataba de una simple microbrechificación sin fusión, conservando los microcristales aún sus bordes angulosos.

Después de atravesar el parabrisas, la RG rozó el salpicadero dejando en él una pequeña depresión irregular de unos 3 cm de ancho y 0.5 de profundidad, golpeando el volante y el dedo meñique de la mano derecha del conductor con tal fuerza que el volante de acero quedó totalmente deformado y él tuvo que ser atendido en el hospital de Getafe. La roca continuó moviéndose hacia arriba, tomando un ángulo de unos 21° a lo largo de unos 92 cm, hasta chocar con la parte interna del techo del vehículo; su recorrido quedó reflejado por el daño que produjo en la tapicería a lo largo de una línea casi recta de unos 43 cm de longitud. Por último, tomó una trayectoria descendente colisionando con la luz central indicadora del freno trasero, terminando su viaje en la parte trasera del automóvil junto a los asientos. Además del ejemplar principal, de casi 1 kg y medio, dentro de coche se encontraron otros cuatro pequeños especímenes (0.2773 g, 0.1524 g, 0.0634 g

y 0.0273 g), siendo el mayor de ellos de $0.7 \times 0.3 \times 0.1$ cm. Otros 87 ejemplares, con pesos de unos pocos gramos hasta más de 5 Kg, fueron encontrados como supuestos «hallazgos» (Fig. 1C) que aparentemente podrían estar relacionados con la caída, aunque su relación genética no se ha podido confirmar.

Características morfológicas y texturales. Evidencias de vuelo.

La orientación aerodinámica de los meteoritos está directamente relacionada con su movimiento y velocidad al atravesar la atmósfera terrestre. La orientación más frecuente, siempre que no existe fragmentación, lleva a la consecución de una forma cónica (ej. condritas Karakol, Zabrod'e). La morfología de la RG (Fig. 1 A) refleja dicha orientación de vuelo, ya que se trata de un ejemplar semi-orientado, de $8 \times 8,5 \times 13,5$ cm y 1,417 Kg de peso, de forma conoidal, con ángulo api-

cal de 75°. La apariencia externa de los meteoritos, viene además definida por las denominadas superficies de primera y segunda clase, dependiendo de que la acción atmosférica sea más o menos marcada, respectivamente. Las superficies de primera clase poseen regmaglifos con un desarrollo diferencial o son completamente lisas. La RG presenta, de acuerdo con esta segunda característica, una superficie de segunda clase totalmente lisa, con textura externa escoriácea, similar a la que poseen ciertas rocas volcánicas muy frescas o determinadas escorias industriales de alta tecnología. Aparentemente la RG no posee costra de fusión, aunque sí es posible observar diferencias de color y textura entre las partes interna y externa del ejemplar (Fig. 1D), siendo la composición de ambas partes mineralógica y geoquímicamente muy similar. Es importante resaltar que, a pesar de tratarse de una caída cuyas circunstancias se encuentran muy bien documentadas, la paragénesis y patrón geoquímico de la RG no se adaptan a los esquemas composicionales de las clasificaciones de meteoritos conocidos. Se caracteriza por la presencia de fases minerales ultrarrefractarias: fundamentalmente inclusiones micro a centimétricas de hierro nativo, dispersas en una matriz micrométrica rica en larnita, wustita, y cromita, con menores proporciones de perowskita, espinelas y troilita. Geoquímicamente también se aprecia su desencuadre con respecto a los meteoritos conocidos, dado que se trata de una roca inusualmente pobre en sílice (Si: 7,60), y especialmente rica en hierro (Fe: 18,57%) y calcio (Ca: 24,86%) (Martínez-Frías *et al.* 1998).

La parte externa del ejemplar parece haber sufrido fusión (especialmente en su superficie lisa coincidente con el ápice conoidal, e hipotéticamente más expuesta a la acción atmosférica), mientras que la parte interna tiene el aspecto de una roca fresca, siendo mucho más oscura, casi negra (Fig. 1D). Sus superficies laterales y trasera son extremadamente irregulares con lo que parecen ser grandes cavidades producidas por burbujas de gas. Aunque la existencia de huecos y burbujas es poco frecuente en meteoritos, se han citado algunos ejemplares que sí las presentan. De hecho la apariencia externa de la RG se asemeja mucho al «scoriaceous type» (AM10 y M4) de los micrometeoritos altamente vesiculados que se han recuperado recientemente en la Antártida, cerca de Cap Prudhomme (Kurat *et al.* 1994).

El examen detallado de la superficie frontal lisa de la RG ha revelado: 1) lo

que parecen ser estrías de fricción, pobremente desarrolladas, con al menos dos sistemas diferentes de lineaciones intersectando a varios ángulos, y 2) esferas vítreas micrométricas (Figs. 2A-2D). La existencia de partículas vítreas micrométricas (generalmente entre 20 a 300 µm), diseminadas en la superficie de algunos meteoritos, suele ser una característica fácilmente observable en algunos ejemplares. El origen de estas partículas se ha asignado a un proceso de vaporización del material que constituye la zona más externa del espécimen durante su entrada en la atmósfera terrestre; dicho material solidifica subsecuentemente con formas esféricas, quedando las partículas diseminadas a modo de un moteado sobre su superficie. Este fenómeno se llama «spatterring» y ha sido bien descrito por varios autores (Krinov, 1960, Buchwald, 1975), definiendo tres tipos de partículas esferoidales: las generadas a partir de polvo meteórico, meteorítico o cósmico; en todos los casos, estas partículas se identifican como evidencias inequívocas de vuelo. También se han encontrado partículas esferoidales similares a las descritas en suelos terrestres relacionados con posibles impactos (ej. Boguslayka, Tunguska) y en el regolito lunar (ej. muestra 10010 del Apolo 11).

Las esferas vítreas encontradas en la RG aparecen diseminadas exclusivamente en su superficie frontal lisa con un tamaño de entre 50 a 300 µm. Se han identificado dos tipos de esferas: esferas oscuras, casi siempre de mayor tamaño (entre 100 y 300 µm), con estrías (Fig. 2C) y huellas de fricción, y esferas semitransparentes y lechosas (Fig. 2B), mucho más pequeñas y lisas (entre 50 y 200 µm), que en algunos casos poseen microcráteres de impacto sobre su superficie, con típicas fracturas concoideas y estrías. La presencia de microcráteres, como el encontrado en la RG, de casi 30 µm (Fig. 2D), se ha citado en la superficie de algunas esferas de vidrio encontradas en el regolito lunar (ej. muestras del Apolo 15 y 16 y Luna 16 y 20, Rode *et al.* 1979).

Conclusiones

La caída de la roca de Getafe está perfectamente documentada en cuanto a trayectoria y efectos producidos por el impacto. La colisión se produjo según una trayectoria descendente a un ángulo de unos 30° con respecto a la horizontal, coincidiendo las estimaciones de la velocidad a la que se produjo el choque contra el vehículo, con los valores teóricos de

velocidad terminal de cuerpos en caída libre (alrededor de 400 km/h). Morfológicamente se trata de un ejemplar semiorientado con ángulo apical de 75°, que presenta diferencias entre sus superficies anterior, laterales y posterior y que aparentemente ha sufrido fusión y recristalización de su parte frontal, debiendo haber alcanzado para ello temperaturas superiores a los 1200°C. Su composición difiere claramente de la litología de la zona donde se produjo el impacto, estando constituida por una paragénesis inusual rica en fases minerales ultrarrefractarias. La presencia de lineaciones y rozaduras milimétricas en su superficie anterior, similares a las estrías de fricción, y la existencia de partículas vítreas esferoidales diseminadas en dicha superficie parecen evidenciar que la roca ha volado; hecho que viene reafirmado por el hallazgo de estrías, fracturas y microcráteres de impacto en las propias esferas. Esto difiere, sin embargo, con el hecho de que mineralógica y geoquímicamente no se adapta a ninguna clasificación de meteoritos conocidos.

Referencias

- Buchwald, V.F. (1975): *Center for meteorites studies*, Arizona State University, University of California Press, Vol. 1: 243 p.
- Gautier, E. (1987): In: *L'Anne Scientifique et Industrielle*. L. Hachette, Paris, 20-24.
- Krinov, E.L. (1960): *International Series of Monographs on Earth Sciences*, Perg. Press, 535 p.
- Kurat, G., Koeberl, Ch, Presper, T, Brandstätter, F. & Maurette, M. (1994): *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58-18, 3879-3904.
- Martínez-Frías, J. (1994): Departamento de Comunicación y Prensa (CSIC). *Informe Interno* (Inédito), 5 p.
- Martínez-Frías, J. (1995): Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología. *Memoria/Informe Interno* (Inédito), 3 p.
- Martínez-Frías, J. y Ruiz de Elvira, M. (1998): *El País semanal*, 1136: 50-56.
- Martínez-Frías, J., Martí, K., Benito, R., Boyd, T., Wilson, G.C., Delgado, A., Ponganis, K.V., Jull, T., Valle, F.J., Lopez-Ruiz, J., Scott, S.D. y Boss, A.P. (1998): *Neues Jb. Min.* (en prensa).
- Rode, O.D., Ivanov, A.V., Nazarov, M.A., Cimbalkova, A., Jurek, K, Hejl, V. (1979): *Academy of Sciences of the U.S.S.R., Czechoslovak Academy of Sciences*, 76 p.
- Spratt, Ch. y Stephens, S. (1992): *Mercury*, XXI, 2: 50-56.