

Ernst Florens Friedrich Chladni (1756-1827) y el origen de los meteoritos

Ernst Florens Friedrich Chladni (1756-1827) and the origin of meteorites

Cándido Manuel García-Cruz

INHIGEO, Llombet, 29, 38296 La Laguna, Santa Cruz de Tenerife,
candidomgc@gmail.com

Recibido: 29 de noviembre de 2020. Aceptado: 23 de enero de 2021.
Publicado electrónicamente: 25 de enero de 2021.

Palabras clave: Bolas de fuego, Meteoroides, Origen cósmico, Siglos XVIII-XIX.
Key words: Fireballs, Meteoroids, Cosmic origin, 18th-19th Centuries.

RESUMEN

A finales del siglo XVIII, el físico alemán Ernst Florens Friedrich Chladni (1756-1827) publicó un ensayo sobre las bolas de fuego, masas de hierro o aerolitos que ocasionalmente caían sobre la Tierra. En ese trabajo se refutaban conjeturas previas que intentaban explicar este fenómeno mediante procesos relacionados con la humedad atmosférica, la acción de los rayos, fusiones provocadas por incendios de bosques o vetas de carbón, o el volcanismo lunar. Chladni proponía una teoría alternativa: el origen cósmico o extraterrestre de todos estos materiales. Sus ideas se basaban en un estudio comparativo entre las diferentes muestras existentes, y en los casos acaecidos de acuerdo con los informes de muchos testigos oculares. Implícitamente aplicaba a este fenómeno, considerado como natural, el principio del actualismo, con el que era factible explicar el pasado a partir del presente, así como el principio de la uniformidad de las leyes naturales, tanto en el espacio como en el tiempo, lo que permitía relacionar las características estructurales y mineralógicas de las diferentes muestras entre sí. A pesar de que en los años siguientes aparecieron diversos trabajos geoquímicos que apoyaban el origen cósmico, el reconocimiento definitivo tardó en llegar, incluso algunos años tras la muerte de Chladni, con personalidades tan relevantes como Laplace, Somerville y Humboldt. Este ensayo está considerado el trabajo fundacional de la Meteorítica.

ABSTRACT

At the end of the 18th Century, an essay on fireballs, masses of iron or aeroliths, that occasionally fell on Earth, was published by the German physicist Ernst Florens Friedrich Chladni (1756-1827). In that work, previous conjectures trying to provide an explanation of this phenomenon were refuted, among them several ideas such as processes related to atmospheric humidity, the action of lightning, mergers caused by both forest fires and coal seams, or Moon volcanism. Chladni proposed an alternative theory: the cosmic or extraterrestrial origin of all these materials. His ideas were based on a comparative study among the different existing samples, as well as on the cases which had occurred according to the reports of many eyewitnesses. Chladni considered this phenomenon as being natural in origin, and he implicitly applied the principle of actualism, with which it was possible to explain the past from the present, but also the principle of uniformity of natural laws, both in the space and in the time, with which was possible to establish a relationship between the structural and mineralogical characteristics of the different samples. Despite the fact that various geochemical works were published in the following years which supported the cosmic origin, the definitive recognition was slow to arrive, even some years after Chladni's death, but main personalities such as Laplace, Somerville, and Humboldt, among others, had contributed to it. This essay has been considered the most important work in the foundation of Meteoritics.

Una apasionada obsesión por la duda, que rechaza los hechos sin llegar a examinarlos, es en algunos casos casi más perjudicial incluso que la credibilidad acrítica. Ambos dificultan el rigor de la investigación.¹

Alexander von Humboldt
Kosmos, tomo I (1845), p. 140

I. INTRODUCCIÓN

En el espacio interplanetario, y orbitando también alrededor del Sol, además de los satélites, asteroides y cometas, existen otros cuerpos sólidos naturales más pequeños que reciben el nombre de *meteoroides*, término acuñado en 1865 por el astrónomo y matemático estadounidense Hubert Anson Newton en un trabajo sobre las estrellas fugaces (NEWTON, 1865:198). Estos objetos, cuyo tamaño varía entre 100 μm y 50 m de diámetro (para diferenciarlos de los asteroides), pueden proceder del Cinturón Principal de Asteroides (situado entre Marte y Júpiter), pero también de otros cuerpos planetarios (como la Luna o Marte), o ser restos de la fragmentación de los cometas, que en este último caso procederían de la Nube de Oort o del Cinturón de Kuiper. Esporádicamente penetran en la atmósfera terrestre (aunque no exclusivamente, puesto que también podrían precipitarse, como de hecho ha ocurrido, sobre otros planetas y satélites) provocando su incandescencia causada por la presión de choque con los gases atmosféricos, aunque durante mucho tiempo se pensó que era debida a la fricción con dichos gases; esto da lugar a fenómenos luminosos o *meteoros* muy variados, que durante siglos han recibido diferentes denominaciones: *globos o bolas de fuego*, *bolas de hierro*, *bóldos*, *estrellas fugaces*, o *aerolitos*... Los fragmentos que, por su tamaño, sobreviven a la fusión y a la desintegración, caen a la superficie terrestre, y en este caso se denominan *meteoritos*;² este término aparece por primera vez en un diccionario etimológico, publicado en 1849, por el geólogo y lexicógrafo escocés John Craig, quien lo definía de una forma muy sencilla como “sustancia o cuerpo sólido que cae desde las regiones altas de la atmósfera”³ (CRAIG, 1849:157). A veces se fragmentan, dependiendo de su tamaño, y suelen detonar antes de precipitarse sobre la superficie, cuyo impacto ocasiona ondas de choque parecidas a las de los terremotos. La frecuencia de caída de los meteoritos es muy variada, depende de la latitud (mayor hacia los polos que en la zona ecuatorial), y, dada su extensión, la gran mayoría se pierde en los océanos.

La importancia de los meteoritos radica en que, también, se consideran restos de los planetesimales, y por lo tanto son una fuente significativa de información acerca del origen del Sistema Solar; en el caso de la Tierra, aportaron un porcentaje nada despreciable de agua y materia orgánica, por lo que podrían estar relacionados con el origen de la vida en nuestro planeta, así como con la llegada de ciertos materiales infecciosos como virus y bacterias. Asimismo, la caída de meteoritos a partir de un cierto tamaño da lugar a los cráteres de impacto muy característicos; a lo largo de la historia de la Tierra, muchos de estos impactos han sido catastróficos, afectando al clima global, y han provocado la extinción en masa de gran parte de los organismos existentes en esos momentos, con lo cual han condicionado de alguna manera la evolución biológica. Algunos tipos de meteoritos también se han utilizado para determinar con bastante fiabilidad la edad de la Tierra.⁴

La problemática sobre el origen extraterrestre de los meteoritos ha sido sin duda uno de los aspectos más discutidos a lo largo de muchos siglos. En los apartados que

1. Traducción castellana del autor. [Texto original: Eine vornehm thuende Zweifelsucht, welche Thatsachen verwirft, ohne sie ergründen zu wollen, ist in einzelnen Fällen fast noch verderblicher als unkritische Leichtgläubigkeit. Beide hindern die Schärfe der Untersuchung].

2. Estos tres términos tienen una etimología común, del griego *μετέωρος*, “cosas de allá en lo alto”, en el sentido de *fenómenos celestes*.

3. Traducción castellana del autor. [Texto original: a solid substance or body falling from the high regions of the atmosphere].

4. La bibliografía sobre Meteorítica es amplísima; aquí solo damos algunas referencias, especialmente en castellano, que pueden servir como introducción: BURKE (1991), LLORCA (2003), MCCALL *et al.* (2006), RUBIN & GROSSMAN (2010), TRIGO-RODRÍGUEZ (2012a: preferentemente, caps. 3 y 7, 2012b, 2013, 2019).

siguen se analizará la controversia sobre el carácter cósmico de este fenómeno. Aunque la terminología clásica de bolas de fuego, bolas de hierro, y aerolitos, es obsoleta, es la que aparece en las fuentes primarias consultadas, por lo que se mantendrá siempre que se haga referencia a las mismas, ya que utilizar el término actual de meteorito en estos casos sería un anacronismo.

2. PRELIMINARES HISTÓRICOS

Durante la segunda mitad del siglo V antes de la era común, el filósofo presocrático Diógenes de Apolonia había sostenido que alrededor de los cuerpos celestes visibles existían otros cuerpos pétreos invisibles, y que estos últimos, de vez en cuando, caían en ignición sobre la Tierra, y se extinguían (KIRK *et al.*, 1983:§. 608). Basaba sus ideas en el conocimiento que tenía sobre una de estas masas rocosas que había caído en Tracia, cerca de Egospótamos, el año 467 a. e. c., tal y como, al parecer, había predicho Anaxágoras de Clazomene en el segundo año de la 78ª Olimpiada. Esta es la primera reseña que se tiene, dentro de la ciencia occidental, sobre la caída de uno de estos meteoritos, en la que, además, se planteaba un origen extraterrestre para dichos materiales. A pesar de que esta idea fue recogida por otros autores posteriores, entre ellos Plutarco, a principios del siglo II de la era común (“Lisandro”, cap. 12), la opinión de Diógenes pasó más bien inadvertida, cuando no ignorada, durante muchos siglos. Esto se debió sobre todo a dos factores principales: por un lado, la influencia de Aristóteles (s. IV a. e. c.) en el pensamiento occidental, quien sostenía en *Los Meteorológicos* (Libro I: caps. 6-7) un espacio exterior en el que solo era posible admitir, al margen de los planetas y de las estrellas, la existencia en la atmósfera terrestre de exhalaciones, meteoros aéreos y otros vapores, como era el caso de los cometas. Por otro lado, la mente humana no se encontraba preparada racionalmente para comprender y aceptar un hecho natural como el de la caída de rocas desde el cielo, a pesar de que existían relatos muy precisos sobre este fenómeno. En autores de la antigüedad clásica, tanto griega como latina, se encuentran referencias escritas sobre lluvia de piedras (*lapidibus pluit*), asociadas algunas veces a fuertes vientos y huracanes (aunque sobre todo a la actividad volcánica) como expresó Plinio el Viejo el año 77 e. c. en su *Historia Natural* (tomo II:cap. 36), en relación, en este caso, con las estrellas fugaces; en otras ocasiones se interpretaban bajo apreciaciones de tipo religioso, como señales o augurios divinos, pero también como malos presagios.

En el segundo milenio de la era común, incluyendo buena parte del Siglo de las Luces, y bajo el prisma de una racionalidad que se iba consolidando lentamente, se ponía en entredicho la credibilidad de muchos observadores a los que se les contemplaba, en general, carentes de formación alguna; esta era la principal razón por la que sus relatos sobre la caída de piedras eran considerados fruto de la ignorancia o simples supersticiones, asociados a veces a una cierta veneración de tipo religioso. Se hablaba, así, de la fantasía y de la imaginación de personas que no estaban acostumbradas a la observación de la naturaleza, y veían de esta forma en ello algo fantástico, y en contradicción con las leyes de la Física. En términos de racionalidad, ante la *ausencia* de una fiabilidad aceptable de estos informes, evidencias indiscutibles, y claras experiencias al respecto, se llegó a pensar que se trataba de piedras que se habían formado bien por coagulación o unión de fragmentos más pequeños mediante la acción de los relámpagos en las zonas altas de la atmósfera, como bloques expulsados por los volcanes de la Luna, o bien como rocas terrestres que habían sido alcanzadas por rayos o auroras boreales. Sin embargo, nunca se pudo establecer ningún tipo de comprobación en este sentido; es evidente que ni siquiera se llegó a intentar, porque, de haberlo hecho, estas conjeturas habrían quedado demolidas de inmediato.

La justificación más aceptada en el campo de la ciencia era que los aerolitos o bolas de fuego procedían de la fragmentación de las montañas de la Luna, a las que se suponía en esa época de naturaleza volcánica. Esta idea se ha encontrado por primera vez en *Musaeum Septalianum*, obra de Paolo Maria Terzago, de mediados del siglo XVII (TERZAGO, 1664:44.4). Muchos pensaban, incluso hacia finales del siglo XVIII, que la Luna era una “vecina traviesa” porque tiraba piedras hacia la Tierra; esta creencia aparece recogida, por ejemplo, por Georg Christoph Lichtenberg, profesor de Física en la universidad de Gotinga, en el calendario local para el año 1797 (LICHTENBERG, 1797:165); allí se especulaba sobre esta *travesura* lunar en relación con una “lluvia de piedras” acaecida el 16 de junio de 1794 en las proximidades de Siena (Figura 1), hecho

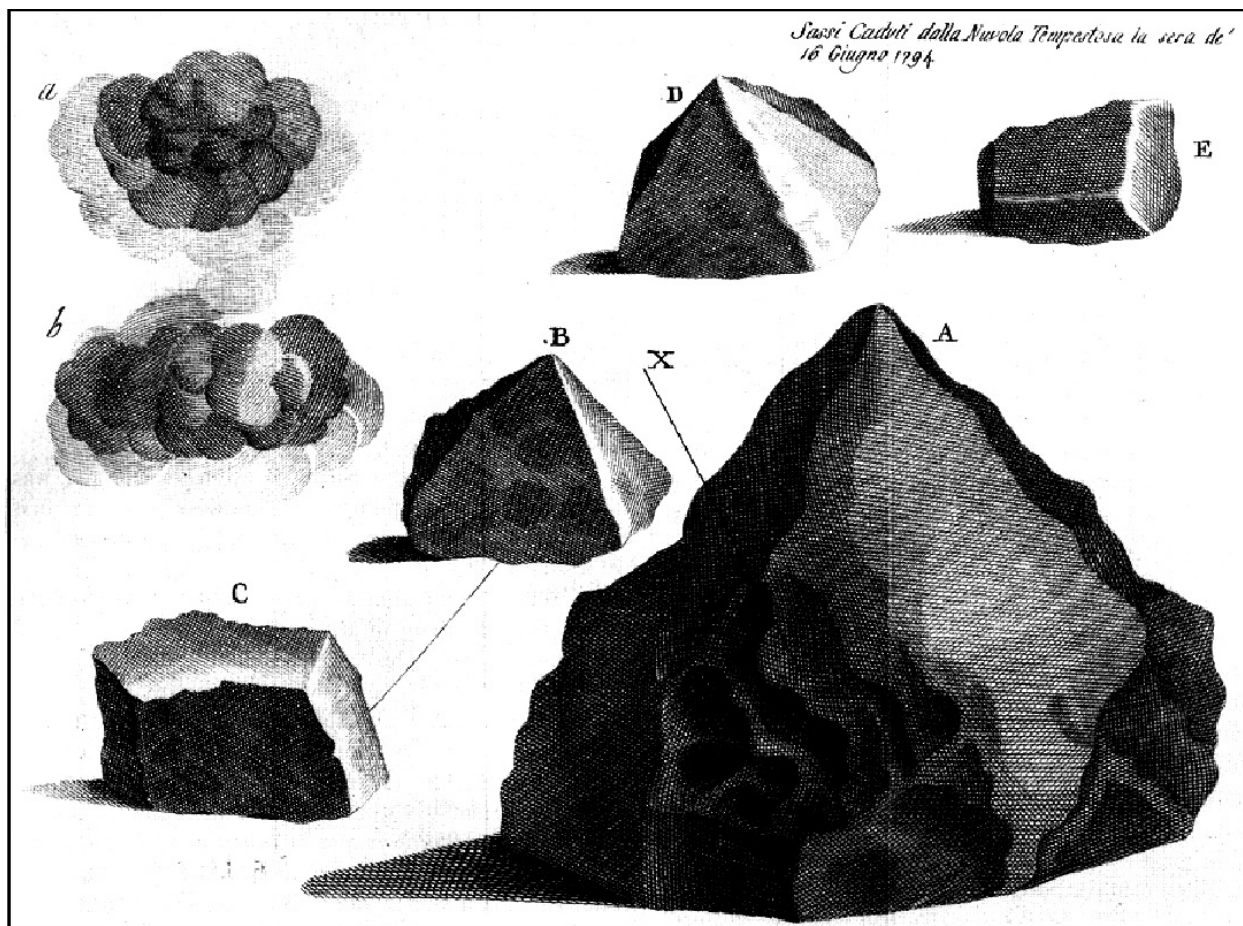


Figura 1. Muestras de la lluvia de piedras que había tenido lugar en Siena el 16 de junio de 1794 (SOLDANI, 1794: lámina final, explicación en §. 15-16, p. 39-43). [Dominio público].

que había sido estudiado por el abad Ambrogio Soldani, naturalista y secretario de la Accademia del Fisiocritici de dicha ciudad italiana (SOLDANI, 1794).

Apenas unos meses antes de este acontecimiento sienés, el físico alemán Ernst Florens Friedrich Chladni (1756-1827) (Figura 2) publicó un pequeño ensayo titulado *Über den Ursprung der von Pallas Gefundenen und anderer ihr ähnlicher Eisenmassen, und Über Einige Damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen*⁵ (Sobre el origen de las masas de hierro encontradas por Pallas y otras similares, y sobre algunos fenómenos naturales relacionados con ellas) (CHLADNI, 1794). En este trabajo (Figura 3), a partir del examen concienzudo de los datos disponibles que recopiló en numerosas bibliotecas, así como con argumentos coherentes, se proporcionaba una explicación del fenómeno mucho más racional que las existentes hasta esa fecha, sugiriendo un origen cósmico para las bolas meteóricas. Asimismo, impulsó en las décadas siguientes la realización de otros muchos estudios sobre los aerolitos, en especial el caso citado de Siena, por su contemporaneidad, hecho que ha sido considerado, por otro lado, el suceso más trascendental de toda la historia de estos acontecimientos (MARVIN, 1998).

Chladni publicó otros trabajos sobre las bolas de fuego, entre los que destaca un amplio tratado sobre este fenómeno que apareció algunos años antes de su fallecimiento (CHLADNI, 1819), en el que hacía una revisión completa de todas las muestras conocidas hasta esos años.

En el apartado siguiente se analizará este ensayo de 1794 (a partir de la edición alemana de Leipzig) con el que se iniciaba el desarrollo de la Meteorítica, ciencia interdisciplinar donde confluyen las aportaciones de astrónomos, planetólogos, físicos,

5. Una breve revisión en alemán de este libro apareció ese mismo año en un extenso periódico local sobre temas eruditos bajo los auspicios de la Königliche Gesellschaft der Wissenschaften (ANÓNIMO, 1794), y un resumen crítico en inglés cuatro años después en *The Philosophical Magazine* (CHLADNI, 1798); diez años más tarde se publicaría una traducción francesa completa (y algo libre) en el *Journal de Mines* (CHLADNI, 1804).



Figura 2. Retrato de E. F. F. Chladni; fisionotrazo por Gilles-Louis Chrétien/1809 (cortesía de la Bibliothèque National de France, París).

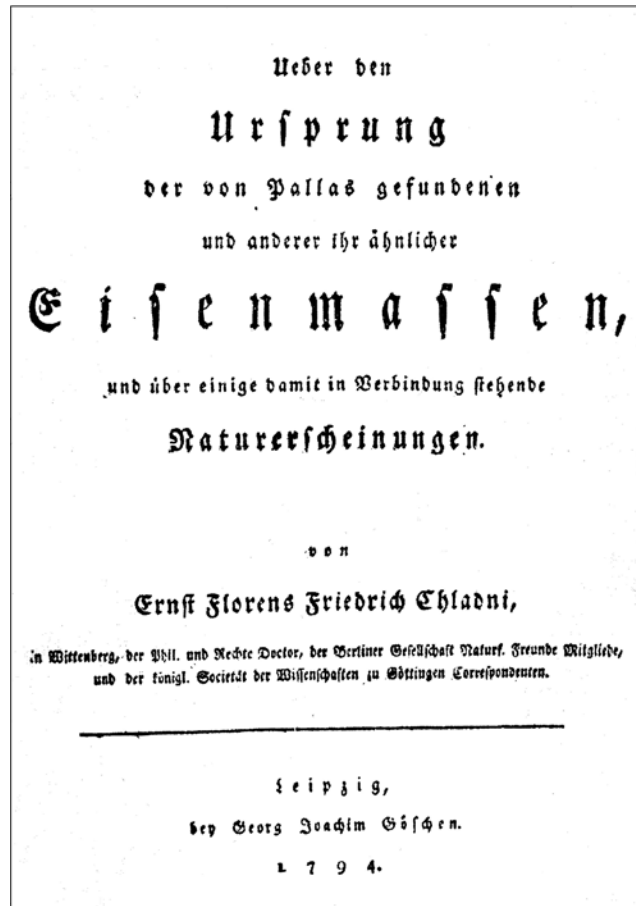


Figura 3. Página de título de la obra de CHLADNI (1794; ed. Leipzig). [Dominio público].

químicos y geólogos, y en la que Ernst Chladni es reconocido como el más relevante de sus fundadores.

3. E. F. F. CHLADNI Y SU EXPLICACIÓN SOBRE EL ORIGEN DE LOS METEORITOS.

Chladni⁶ había nacido en Wittenberg (Sajonia) en 1756, y falleció en la ciudad prusiana de Breslau (actualmente Wrocław, Polonia), en 1827. Desde muy joven se interesó por diferentes aspectos de la Ciencia Natural, sobre todo por la Física; sin embargo, por influencia paterna estudió Leyes y Filosofía, y se doctoró en ambas disciplinas, respectivamente, en las universidades de Leipzig y en la de su ciudad natal. Con posterioridad se dedicaría a la Física, cuyos estudios sobre el sonido fueron esenciales para la fundación de la Acústica. A finales del año 1791, la asistencia a una conferencia de su colega y amigo Lichtenberg, en Gotinga, le influyó de tal manera como para interesarse por las bolas de fuego, lo que hizo a través de la Academia de Ciencias de San Petersburgo a la que pertenecía, y con la que estuvo colaborando durante muchos años.⁷ Para ello, viajó a Siberia con la intención de analizar la masa de hierro caída cerca de Krasnojarsk, que los tártaros tenían como una reliquia sagrada, y descrita por su compatriota Peter Simon Pallas unas décadas antes (PALLAS, 1776:410-417). Como resultado de ello, Chladni se dedicaría también en los años siguientes a la investigación de este fenómeno.

El mencionado trabajo de Chladni se estructura en diecisiete apartados, en los que trata de desentrañar, en poco más de sesenta páginas, el origen de estas masas:

- §. 1. La materia que se encuentra en las bolas de fuego que han caído es muy similar a la de Pallas, así como a la de otras masas parecidas (p. 1-2).
- §. 2. Observaciones generales sobre las bolas de fuego (p. 2-8).

6. La bibliografía sobre Chladni es también muy amplia; aquí se indica tan solo una muestra representativa, especialmente en relación con la Meteorítica: BIALA (2011), BURKE (1991:cap. 2), JACQUET (2009), KROJER (2009), LLORCA (2003:cap. 4); MARVIN (1996, 2006), MCCALL *et al.* (2006:1-122), SOTER & TYSON (2001:Sec. 1, Profile), ULLMANN (1983, 2007).

7. De hecho, los rusos lo transcriben *Jladni* (a veces también *Jladny*), y lo suelen considerar de esa nacionalidad.

- §. 3. Informes sobre algunas observaciones (p. 8-15).
- §. 4. Fundamentos en contra de algunas explicaciones anteriores (p. 15-22).
- §. 5. Las bolas de fuego también constan de materiales pesados y densos, y no son cuerpos telúricos sino cósmicos (p. 22-25).
- §. 6. Es probable que las estrellas fugaces tampoco sean diferentes (p. 25-27).
- §. 7. Impactos observados donde cayeron las bolas de fuego (p. 28-29).
- §. 8. Ejemplos de masas encontradas en el lugar donde cayeron (p. 29-39).
- §. 9. Informes sobre la masa de Pallas, y algunas otras similares formadas probablemente de la misma manera (p. 39-42).
- §. 10. Estas masas no se originaron mediante la humedad (p. 42-44).
- §. 11. No se han fundido con posterioridad (p. 44-46).
- §. 12. No se han fundido por el incendio de un bosque o de una veta de carbón (p. 46-47).
- §. 13. No son de origen volcánico (p. 47).
- §. 14. No se han fundido por la acción de un rayo (p. 48).
- §. 15. Fundamentos para sostener el mismo origen en las masas mencionadas en §. 8 y 9 (p. 48-55).
- §. 16. Otras explicaciones (p. 55-59).
- §. 17. Sugerencias para una investigación más amplia (p. 59-63).

Chladni comienza su ensayo (§. 1) rechazando las explicaciones sobre las masas de hierro nativo semejantes a las estudiadas por Pallas algunos años antes en Siberia. Defendía que dichas muestras no eran otra cosa que la sustancia que formaba los bólidos o bolas de fuego, puesto que todo lo que se sabía sobre estos meteoros probaban que estaban formados por una materia compacta y pesada que no había podido ser lanzada al aire por ninguna fuerza terrestre, ni habían sido formados por agregación de diversas sustancias en la atmósfera. Además, el parecido existente entre los bólidos y estas masas caídas del cielo era tan grande que eso bastaría como una clara evidencia. Criticaba a continuación (§. 2) algunas de las explicaciones previas sobre dichas bolas de fuego, como la dirección y el ángulo de caída, que era muy variable; el aspecto observado, también muy distinto, entre redondo y alargado; la luz blanca deslumbrante que emitían; la paralaje; el estallido que provocaban, bien único o múltiple según los fragmentos; el enorme tamaño atribuido a pesar de que tanto la velocidad como la distancia a la que se observaban no permitían estos cálculos; su duración, entre pocos segundos hasta varios minutos; su gran velocidad y dirección oblicua que no podrían deberse solo a la atracción terrestre... Todos estos detalles le hicieron insistir en que no habían podido formarse en la atmósfera.

En las décadas previas a la publicación de su ensayo se dio la circunstancia de que se pudo observar la caída de varios de estos objetos en diferentes puntos del planeta; Chladni hace un repaso de todos ellos de acuerdo con las informaciones existentes (§. 3), para pasar en el apartado siguiente (§. 4), a la refutación de los diversos sistemas explicativos que se habían propuesto hasta la fecha. Es interesante resaltar que entre los naturalistas que ofrecieron dichas explicaciones se encontraban personalidades tan relevantes como Antón Maria Vassalli, Karl Ludwig Gronau, Johann Albert Heinrich Reimarus, Johann Esaias Silberschlag, Torbern Bergmann, Giuseppe Toaldo, Nevil Maskelyne, Edmund Halley, Antoine Laurent de Lavoisier, Johannes Hevelius o John Wallis, que destacaron especialmente en campos como la Física, la Astronomía, la Mineralogía y la Química. Chladni sostenía que, en la actualidad, no conocía a nadie que pudiera explicar de forma satisfactoria la causa de estos meteoros. Las explicaciones más comunes dadas hasta aquel momento comprendían diversos fenómenos físicos en relación con la atmósfera: las auroras boreales y las luces zodiacales, al entender erróneamente que los globos de fuego se dirigían de norte a sur, cuando en realidad se desplazaban en cualquier dirección; el paso de la materia eléctrica de una zona de la atmósfera sobrecargada a otra con menor carga, pero a la altitud a la que se observaban no existían materiales conductores y el aire estaba tan rarificado que sería muy difícil cargar un conductor eléctrico; la acumulación de vapores viscosos y oleosos en las regiones superiores de la atmósfera, si bien a estas alturas no se podían acumular esta clase de gases; la combustión de una estela larga de gas hidrógeno, pero los vapores inflamables no se podían agrupar de una forma determinada, y su combustión sería más bien como una aurora boreal, además de no explicar la dirección y el brillo, y su explosión no sería tan inmediata si fuese realmente un gas; otras explicaciones establecían una relación con ciertos cuerpos permanentes que giran alrededor del Sol, análogos a los cometas, pero que en algunos casos pertenecerían a la Tierra, o por acumulación de materia diseminada en el espacio que se produciría en algunos

puntos antes de precipitarse hacia el Sol. Algunas de las ideas anteriores eran muy difíciles de combatir debido a la importancia de sus partidarios, como fueron las que defendía Lavoisier, uno de los padres de la química moderna, cuyas opiniones tenían un gran predicamento en esa época (LAVOISIER, 1789:32). Se ha afirmado al respecto que entre estas ideas estaba la influencia de la *electricidad* como causa de las bolas de fuego (MARVIN, 1996:551), aunque en ningún momento el químico francés hace referencia en su *Traité élémentaire de Chimie* al fenómeno eléctrico como causación.

Chladni trata a continuación de la naturaleza de estos bólidos (§. 5). Comienza descartando todas las ideas presentadas en el apartado anterior para pasar a exponer su propio sistema racional. Este sistema estaba de acuerdo con los principios aceptados por la Física, y corroborado además por la naturaleza de las sustancias encontradas en los lugares donde han caído estos cuerpos: los bólidos deben tener una densidad y un peso considerables para poder mantener su velocidad sin disiparse por la resistencia del aire; el cambio observado en la forma (entre redonda y alargada) prueba que la materia constituyente es fluida y tenaz, y que se dilata hasta detonar; esta materia no se podría formar por condensación de partículas diseminadas en el aire, ni ser lanzada por ninguna fuerza terrestre conocida, y menos aún impulsarla a gran velocidad y con una dirección paralela al horizonte. En consecuencia, la materia no se habría originado ascendiendo para posteriormente volver a caer, sino que se formó en el espacio, y desde allí descendió a nuestro planeta. Por otro lado, se sabía que la Tierra (la misma conjetura se hacía también para otros cuerpos celestes) estaba formada por principios terrosos o metálicos, en los que abundaba el hierro, y que en la atmósfera debían existir partículas que se agrupaban y aumentaban su velocidad por la acción de la atracción terrestre, entraban en incandescencia por el calor del rozamiento, y aumentaban su volumen excesivamente debido a la rarefacción del aire.

Para Chladni, las estrellas fugaces serían semejantes a los bólidos (§. 6.), aunque la velocidad era muy diferente. Su ignición se disipaba rápidamente, por lo que debían haberse originado a una altitud más baja que los globos de fuego. Bien podrían haberse formado en la atmósfera como los fuegos fatuos a partir de materia viscosa en putrefacción de origen animal o vegetal, elevándose a poca altura, y disipándose o entrando en una rápida combustión, de acuerdo con su poca duración.

En las zonas de caída de los fragmentos de los bólidos (§. 7) se observaba una semejanza con el hierro incandescente cuando caía al mar, con explosiones en tierra seguidas de incendios, formándose depresiones de diferente profundidad, con la hierba de los alrededores quemada y un olor a azufre, pero todo esto no parecía haber sido consecuencia de la caída de un rayo.

La mejor oportunidad de examinar la composición de las bolas de fuego sería a través del estudio de diversas muestras caídas del cielo (§. 8). Entre estas muestras destacan los conocidos meteoritos de Ensisheim (1492)⁸ y de Presburgo (1771), incluyendo relatos de autores clásicos como Plinio el Viejo y Avicena, y otros bólidos caídos a lo largo de varios siglos en diferentes lugares, entre ellos Magdeburgo (998), Transilvania (1559), Turingia (1581), Silesia (1636), Waltrig (1698), Alta Eslovaquia (1751), Bohemia (1753), Alboreto (1766), o Maine-Artois (1769). A pesar de estar documentadas históricamente con numerosos testigos oculares, fueron considerados por muchos autores fruto de la imaginación y de la fantasía. Para Chladni, sin embargo, se trataba de fenómenos naturales, pero que no tenían nada que ver con la intervención de los rayos; basaba sus aserciones en diferentes hechos: su composición y su estructura eran muy distintas a la de los terrenos donde habían caído; la costra de hierro nativo había sufrido la acción del fuego, explicable solo mediante la fusión; en todos los casos, las crónicas hablaban a veces de la fragmentación del bólido, de ruidos terribles durante la caída, y los impactos con el suelo recordaban a un terremoto. Los estudios químicos y mineralógicos indicaban una semejanza en todas las muestras.

Atendiendo a sus características, Chladni achacaba este mismo origen a la masa de hierro observada por Pallas en Siberia, caída en un entorno de naturaleza esquiva, entre Krasnojarsk y Ababansk (§. 9). Prácticamente era semejante a otras masas, como la estudiada por el expedicionario asturiano Miguel Rubín de Celis, en 1783, que se encontraba en el Chaco (Argentina), y caída muchos años antes de la llegada de los españoles al Nuevo Continente, así como otras muestras de Magdeburgo (1773) y de

8. En el original alemán (CHLADNI, 1794:35), se indica en un principio 1493 como año de la caída de este meteorito, pero el físico alemán señala a continuación, según otras relaciones y la interpretación de un cronograma existente en las proximidades de la muestra, que tuvo que haber ocurrido el año anterior. El meteorito de Ensisheim cayó justamente hacia el mediodía del lunes, 7 de noviembre de 1492.

diferentes partes de Francia y Alemania: forma irregular y textura esponjosa, con una corteza externa ferruginosa, hierro dúctil en el interior, y olivino frágil y amarillento en los intersticios; aunque algunas muestras tenían adherido carbón vegetal, este podría haberse formado por un proceso de carbonización debido al impacto.

Todas las masas de hierro de los párrafos precedentes habían sido descubiertas en superficie o a escasa profundidad, sin conexión alguna con las vetas o filones de la zona. De acuerdo con las características físico-químicas y mineralógicas ya descritas, Chladni llegó a establecer de forma concluyente que no se habían formado por una vía húmeda (§. 10), ni que, atendiendo además a su maleabilidad, se habían originado por cualquier proceso de fusión artificial posterior a su caída (§. 11), ni por un incendio de un bosque o de una capa de carbón (§. 12), ni tenían parecido alguno con los productos procedentes de los volcanes, ni se trataba de áreas volcánicas donde habían caído (§. 13), ni por la participación de un rayo, aunque esta era la opción menos contraria a la naturaleza, pero también muy improbable (§. 14).

Aplicando, pues, la teoría de las causas actuales (véase más adelante), Chladni sostenía que hay razones que prueban que las masas citadas en los apartados anteriores habían tenido un mismo origen (§. 15), puesto que existía una relación de estas masas con los fenómenos observados en los bólidos. Tal relación se basa en que el material que las forma es compacto y pesado, que adquieren una gran velocidad que los electrifica y enciende, dilatándolos hasta explotar. Tal es así que se podía concluir por la experiencia que tanto en estos globos de fuego como en las masas estudiadas se debían encontrar las mismas propiedades, como el peso, la tenacidad, estructura esponjosa, corteza alveolar, hedor sulfuroso, debido esto último al contenido en azufre de estos meteoros. Solo la acción de los rayos no podría dar los resultados observados, porque las tormentas podían causar fenómenos análogos en cualquier época del año, y las caídas se habían producido incluso cuando la atmósfera no podía estar cargada de vapores. Además, los testimonios sobre las caídas eran semejantes, y esta similitud no podría deberse a una casualidad; por lo tanto, las explicaciones correspondientes serían suficientes siempre que no contradijeran a la razón.

Por todo lo dicho, Chladni defendía unas explicaciones alternativas (§. 16). Se podrían esclarecer así algunos fenómenos que no habían podido ser explicados satisfactoriamente todavía, siempre que se admitieran que tenían un origen común. Entre estos fenómenos se encontraban: la naturaleza singular de la masa hallada en Siberia, y de otras masas parecidas, en las que se observaba un índice de fusión que no concordaba con la infusibilidad actual del hierro y su maleabilidad, así como otras particularidades ya citadas que señalaban un origen tan problemático que algunas de las hipótesis propuestas hasta ahora no eran admisibles; los bólidos, sobre los que los físicos habían propuesto tantas ideas contradictorias, y que en su mayor parte se oponían a la buena Física; las estrellas fugaces, sobre cuyo origen no existía nada con suficiente certeza; y las masas ferruginosas, cuya caída no era posible explicar de ninguna manera si no se aceptaba la existencia de numerosos testimonios semejantes entre sí. Chladni pensaba, tal y como había hecho Diógenes de Apolonia muchos siglos antes (aunque no lo cita) según vimos en la Introducción, que en el espacio existían, además de los cuerpos celestes conocidos, otras masas más pequeñas. Era consciente de que esta idea no era aceptada por muchos autores, aunque estuviese muy de acuerdo con las observaciones, y no debería ser rechazada solo por parecer increíble, extraordinaria y nueva. Los cuerpos celestes, aparte de algunos cambios que tenían lugar en la superficie, siempre habían sido y serían como se veían en ese momento, de acuerdo con el principio de uniformidad en la naturaleza (véase más adelante). Era posible suponer que los cuerpos celestes se habían formado por agrupamiento de diversos materiales fundidos en un estado caótico, o por la atracción de escombros procedentes de una masa mucho mayor, cuya destrucción se pudo haber debido a un choque externo o a una explosión interna. Algunos de estos materiales permanecían aislados y sin formar una gran masa, y continuarían moviéndose en el espacio hasta que fueron atraídos por su proximidad a otro cuerpo celeste, cayendo sobre él a modo de meteoros similares a los que constituían el objeto de su trabajo. Para Chladni era evidente que estas masas se componían principalmente de hierro, metal muy abundante en la superficie de nuestro mundo, así como en animales y plantas, pero también en su interior como se ponía de manifiesto a través del magnetismo.

Si esta teoría era correcta, habría que admitir que muchas sustancias que se reconocían en las rocas caídas del cielo (como el azufre, la sílice, o el magnesio)

eran materiales peculiares de los cuerpos celestes, y servirían, por lo tanto, para caracterizarlos.

En el último apartado de este trabajo se especifican diversos planteamientos para futuras investigaciones sobre este fenómeno (§. 17). Entre las masas de las que se ha hablado en §. 8, Chladni señala algunas que merecerían mayor atención, como, por ejemplo, la de Transilvania, la de Turingia, que sería deseable describir cuidadosamente, o la de Ensisheim, y otras muchas masas de hierro que se habían encontrado y que poseían una corteza ferruginosa. Valdría la pena también investigarse la extrema maleabilidad de la masa de Siberia, y su infusibilidad. Todas ellas, evidentemente, parecían haberse fundido. Se planteaban, igualmente, algunas cuestiones interesantes, como la posibilidad de fundir pequeños fragmentos de estas masas para comprobar si el hierro seguía siendo maleable posteriormente, sin añadirle alguna sustancia combustible, o si se volvería frágil como el hierro fundido ordinario. Debería asimismo observarse al microscopio algunos pequeños glóbulos⁹ de las masas para reconocer si cedían al ser golpeadas por un martillo, tanto en caliente como en frío. Habría que comprobar también si el hierro de otras masas similares maleables se comportaba como el de la masa de Siberia al ser tratado de la misma forma, y si se percibían las mismas peculiaridades que cuando se fundía una barra de hierro ordinario. Para Chladni, este tipo de hierro estaba más próximo en varios aspectos al acero que al hierro forjado, como se podría comprobar a partir de la descripción de la masa de Magdeburgo. La caída de bólidos era difícil de observar puesto que era un fenómeno muy raro. Habría, pues, que prestarles mayor atención, sobre todo a su dirección, intentar encontrar alguno donde se había visto caer, y comprobar si existía hierro fundido, terroso o metálico. Puesto que este fenómeno se había asociado con el estado de la atmósfera, sería importante comprobar si existían truenos o rayos en el momento de la caída de estas masas, y darles mayor crédito a los informes de los testigos oculares, que, para él, describían sin ninguna duda un fenómeno natural y por lo tanto real. Ante un meteoro extraordinario, sería deseable recabar información precisa sobre sus caídas, así como que varios físicos separados a grandes distancias pudieran observar las estrellas fugaces en la misma zona del cielo, sus direcciones aparentes, para determinar, a través de su paralaje, la altura y su ruta real, representando en un planisferio el camino seguido.

Chladni finalizaba su pequeña obra con las siguientes palabras en referencia a su propuesta para ulteriores trabajos: “Mediante tales investigaciones, que se han de llevar a cabo con la máxima precisión, en el futuro se tendría más seguridad, de la que hoy es posible, sobre si mi teoría, que por tantas razones tiene al menos un mayor grado de probabilidad que las anteriores, está realmente de acuerdo o no con la naturaleza”¹⁰ (CHLADNI, 1794:63).

4. COMENTARIOS ADICIONALES

En el trabajo descrito se observan algunos aspectos que lo convierten en un excelente ejemplo de metodología rigurosa e impecable: a) se inicia con una definición precisa del problema que va a tratar, a saber, el origen de las bolas de fuego, masas de hierro, o aerolitos, materiales que, para Chladni, están relacionados entre sí, y que constituyen un fenómeno al que realmente, desde el punto de vista de la ciencia, se le había prestado muy poca atención; b) se presenta previamente el marco en el que se va a desarrollar su propuesta, analizando los preliminares históricos; c) se discuten las hipótesis presentadas hasta esa fecha, aportando los fundamentos para la refutación de las explicaciones anteriores; d) se realiza una propuesta personal novedosa, que no considera cerrada ni definitiva, pero sí con una argumentación lo suficientemente coherente como para ser tenida en cuenta; e) finalmente, se hacen diversas sugerencias para una futura investigación, donde todas las posibles ideas o conjeturas siempre van a

9. Cuando CHLADNI (1794:60) hablaba de “glóbulos” (*Küchelchen*, en el original alemán; *Kügelchen*, según la ortografía moderna), se estaba refiriendo a pequeños depósitos minerales en forma de granos o esferas, presentes en algunos meteoritos; posteriormente se denominarían *condrulos* (del griego, *χόνδρος*, grano), que sirvieron para caracterizar a los meteoritos donde se descubrieron, y que recibieron por ello el nombre de *condritas*.

10. Traducción castellana del autor. [Texto original: Durch der gleichen mit aller Genauigkeit anzustellende Untersuchungen würde sich in der Folge mit mehrerer Gewissheit, als jesst möglich ist, ob gegenwärtige Theorie, die durch so viele Gründe wenigstens einem höhern Grad von Wahrscheinlichkeit, als die bisherigen, erhält, wirklich der Natur gemäss sey, oder nicht].

estar sujetas a comprobación y/o revisión, lo que aportaría a su teoría un mayor grado de certidumbre.

En contra de las hipótesis que se habían planteado en esa época sobre el origen de las bolas de fuego, los argumentos racionales que utiliza Chladni se fundamentan tácitamente en el Principio del Actualismo en la naturaleza. Este principio metodológico, conocido también como de las Causas Actuales, lo tiene siempre en cuenta bajo tres aspectos que, aunque inherentes a la racionalidad humana, por lo general nunca se hacen explícitos: 1) es posible recurrir al análisis de ideas o fenómenos conocidos y presentes para explicar ideas o fenómenos lejanos y desconocidos; 2) a iguales causas, iguales efectos; y 3) el pasado es posible explicarlo recurriendo al presente. En este mismo sentido, los experimentos y las observaciones físico-químicas a que somete las muestras en estudio proporcionan una mayor coherencia en su sistema explicativo puesto que se basaban en el Principio de Uniformidad de las leyes naturales, es decir, su constancia tanto en el espacio como en el tiempo, y su inmanencia a la propia naturaleza;¹¹ esto no se daba en las conjeturas anteriores, a pesar de las pretensiones en este sentido por parte de sus autores (por ejemplo, cuando sostenían que la caída de piedras contradecía las leyes de la Física), y que precisamente por eso se desmoronaban ante cualquier planteamiento serio, coherente y crítico en su contra.

A pesar de lo dicho, la reacción de una buena parte de la comunidad científica en esos años y hasta casi la mitad del siglo XIX fue adversa, desde el mero escepticismo hasta el más agudo sarcasmo; de hecho, en una revisión y resumen críticos del trabajo de Chladni se afirmaba que las opiniones contrarias eran tratadas por parte del físico alemán con bastante ingenuidad (CHLADNI, 1798:2).

Siguiendo primero a Aristóteles, como ya se vio en los Preliminares Históricas, y posteriormente también a Sir Isaac Newton, tal y como sostenía este en su *Opticks* (NEWTON, 1718:Book Third, 343), se aceptaba que en el espacio exterior (*mundo supralunar*) no existían otras masas sólidas que no fueran los cuerpos planetarios, los satélites y los cometas; consecuentemente, estas piedras en ignición no podían haber caído desde el cielo sencillamente porque en el cielo no había tales piedras. Se trataba, por lo tanto, de un fenómeno no ya improbable sino imposible. El arraigo de esta idea en la comunidad científica era tal que Sir Lazarus Fletcher, del British Museum of Natural History, de Londres, en una introducción a la Meteorítica, lo expresó señalando que, hasta principios del siglo XIX, las referencias e informes sobre la caída de piedras se consideraban temas absurdos, las colecciones de muestras y la exhibición de las mismas constituían motivos de burlas, y a sus promotores se los veía como el hazmerreír entre los científicos (FLETCHER, 1896:8).

El problema sobre el origen de las bolas de fuego ya venía durando dos mil años cuando Chladni planteó la necesidad de examinar con mayor meticulosidad los hechos y dar validez a los informes de los testigos oculares. Todas las ideas supersticiosas prácticamente habían desaparecido a finales del siglo XVIII. Pero los aspectos positivos que desembocarían en una aceptación casi generalizada de la propuesta de Chladni tardarían algunas décadas en llegar, mucho después incluso del fallecimiento del físico alemán en 1827. El origen cósmico se vio facilitado por diversas circunstancias que impulsaron el reconocimiento de este fenómeno, favorecieron el cambio de perspectiva de algunos científicos que en principio se mostraban reacios a dicha propuesta, y condicionaron apoyos importantes tal y como requería también su sistema explicativo, entre los que se destacarán tan solo algunos de los más relevantes.

Una de estas circunstancias fue la observación directa de la caída de meteoritos en los últimos años del siglo XVIII en diferentes lugares de la Tierra, y que serían objeto de estudio. A principios del siglo XIX, desde la Royal Society de Londres se promovió la investigación química y mineralógica de las muestras existentes, en especial de aquellos bólidos que habían caído en Siena (1794), Yorkshire (1795) y Benarés (1798). Los principales estudios fueron llevados a cabo por Edward Charles Howard, Joseph-Louis de Bournon y John Lloyd Williams, y en ellos se compararon algunas rocas metálicas caídas del cielo con el hierro nativo (BOURNON, 1802a, b; HOWARD, 1802; WILLIAMS, 1802). La existencia de pequeños glóbulos metálicos totalmente distintos a los que pudieran

11. Los citados principios, conocidos conjuntamente en las Ciencias de la Tierra como Actualismo-Uniformitarismo, poseen unos límites que durante siglos han actuado como obstáculos epistemológicos, condicionando la aceptación o rechazo de algunos fenómenos, precisamente, como el que se ha tratado. Una nueva valoración de estas limitaciones, más acorde con la realidad natural, ha proporcionado desde las últimas décadas del siglo XX unas bases sólidas para la aceptación definitiva de la corriente Neocatastrofista, en la que se unen las causas actuales y la uniformidad de las leyes físico-químicas con la existencia de catástrofes de orden natural.

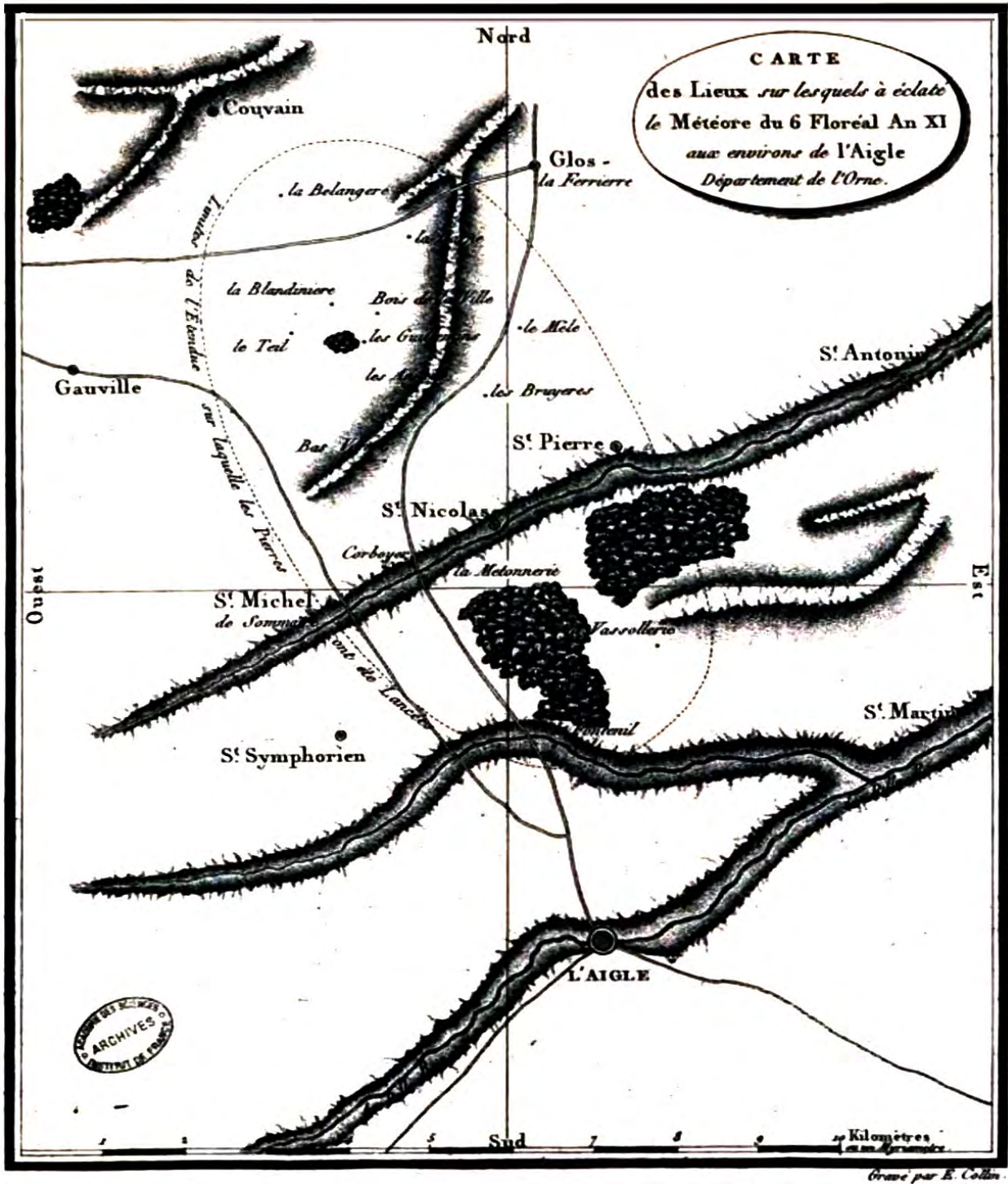


Figura 4. Mapa elaborado por Biot donde se detallan las rutas seguidas por los fragmentos en ignición caídos en L'Aigle (Normandía), el 26 de abril de 1803 (BIOT, 1803: frontispicio). [Dominio público].

observarse en materiales terrestres, así como de un pequeño porcentaje de níquel, condujeron a la convicción de que se trataba de cuerpos sólidos de origen cósmico o interplanetario.

Por otro lado, durante la búsqueda del planeta desconocido que debía existir, en el marco de la Ley de Titius-Bode, entre Marte y Júpiter, Giuseppe Piazzi, desde el observatorio de Palermo, descubrió Ceres en 1801, lo que llevó a una exploración más intensa en esa zona del Sistema Solar. En las décadas siguientes se encontraron otros cuerpos sólidos parecidos, como Palas y Vesta, y otros muchos de menor tamaño, para

los que el astrónomo británico William Herschel había acuñado el término *asteroide*¹² (HERSCHEL, 1802:228). Todos ellos constituirían lo que se llamó desde mediados del siglo XIX el *Cinturón Principal de Asteroides*, región que bien podría ser la fuente más importante de los meteoritos que caían a la Tierra.

Otro hecho de gran trascendencia tuvo lugar en Francia el martes, 26 de abril de 1803 (*6 floréal an XI*, según el calendario revolucionario vigente): sobre la una del mediodía, una espectacular lluvia de piedras meteóricas cayó en L'Aigle, en la región de Normandía. Su estudio le fue encargado al científico polifacético Jean-Baptiste Biot, por la Académie des Sciences, de París, quien en esa época estaba convencido de la influencia del volcanismo lunar en el origen de este fenómeno. Su trabajo (BIOT, 1803) está considerado una auténtica investigación policial de un enorme rigor científico, en el que se incluye un mapa detallado de la zona con las diferentes rutas seguidas por los fragmentos en ignición durante su caída (Figura 4). Biot parte de argumentos físicos (análisis mineralógico tanto de las muestras y restos de las bolas de fuego, como de los materiales de la propia región), pero también atiende los argumentos que él denomina *morales*, es decir, los testimonios de numerosas personas que presenciaron el acontecimiento, y que para él poseen bastante credibilidad. Todos estos testigos oculares coincidían en detalles sobre la caída de las bolas de fuego que no podrían deberse a la casualidad; por otro lado, los análisis mineralógicos no se correspondían con los materiales de la región en donde, además, no existían volcanes. Esto probaba que aquellas piedras meteóricas eran extrañas al lugar donde se habían encontrado, y que fueron transportadas hasta allí después de la explosión en la atmósfera por alguna causa que modificó los principios que contenían. Aunque Biot dejaba a la perspicacia de los físicos el extraer las conclusiones, era más que evidente que, a partir de los argumentos obtenidos, los aerolitos debían proceder, sin el menor atisbo de duda, del espacio exterior, y nada tenían que ver con el volcanismo lunar como él mismo había creído hasta entonces.

En esos mismos años, a pesar de que ya se habían publicado algunos trabajos significativos como los mencionados de Biot, Howard, Bournon y Williams, en 1803 apareció *Lithologie atmosphérique*, del médico francés Joseph Izarn, ilustre profesor de Física Galvánica, miembro de la Société de Sciences, Belles-Lettres et Arts, de París. Ya en el título se reflejaba perfectamente la posición de una parte importante de la comunidad científica en relación con el fenómeno. La obra era crítica con las ideas de Chladni, las calificaba de ingeniosas, incluso de atractivas a primera vista, pero que no resistían el menor examen analítico, puesto que intentaban explicar un acontecimiento imaginario: las causas que el físico alemán atribuía para explicar la caída de piedras eran rebatidas por su colega francés, porque no se observaban en los lugares investigados; era, pues, evidente que no podían ser aplicadas a dicho fenómeno porque, sencillamente, los efectos no podían ser anteriores a las causas (IZARN, 1803:403-404, §. 55-56). Sus reflexiones (que no sus experimentos) le llevaban a aceptar ideas de otros científicos de diferentes instituciones francesas, como Charles Pictet de Rochemont, Jean-Pierre Darcet, Balthasar Georges Sage, o Louis Nicolas Vauquelin, entre otros, que relacionaban el origen de las piedras meteóricas con turbulencias atmosféricas.

Algunos años más tarde, el astrónomo francés Pierre-Simon de Laplace, aunque en un principio se había mostrado partidario de la intervención de la atmósfera en el origen de los aerolitos, en la quinta edición de su *Exposition du Système du Monde*, tras reconocer la dificultad en el caso del volcanismo lunar, defendió el hecho de que llegaban hasta la Tierra desde las profundidades del espacio celeste (LAPLACE, 1824, I:99, y II:410).

Asimismo, Mary Somerville, astrónoma y matemática escocesa autodidacta, publicó algunas obras en las que, defendiendo las mismas ideas ya comentadas de Diógenes de Apolonia (sin mencionarlo), consideraba la existencia de cuerpos sólidos errantes e invisibles en el espacio, que giraban alrededor del Sol. Ocasionalmente, estas masas penetrarían en la esfera de atracción de la Tierra, cruzaban la atmósfera en ignición debido al rozamiento con el aire, y se precipitaban sobre nuestro planeta. Para Somerville, todas las piedras meteóricas, de acuerdo con los estudios geoquímicos y mineralógicos realizados, tendrían un origen común, totalmente ajeno al volcanismo lunar (SOMERVILLE, 1831:LXVI-LXVII; 1849:447). Estas ideas estaban en consonancia con

12. Del griego ἀστῆροειδής, con forma o aspecto de estrella.

lo defendido por Chladni como se ha visto en los párrafos precedente, aunque tampoco aparece citado en este contexto el físico alemán.¹³

Finalmente, a zanjar este debate también contribuyó, sin duda, el análisis que hizo, mediando el siglo XIX, Alexander von Humboldt en el tomo I de *Kosmos*, de las investigaciones sobre los asteroides. En esta obra Humboldt realizó un reconocimiento pleno a favor de todo lo expuesto por Chladni en su pequeño ensayo, no solo sobre los argumentos sino también sobre su metodología (HUMBOLDT, 1845:120-142).

Sin perder de vista la reflexión epistemológica de Humboldt que encabeza el presente artículo, podemos cerrarlo asimismo con otra interesante frase, en este caso del informe de Biot. En referencia a cómo afrontan diferentes personas los problemas desconocidos, Biot sostenía: “Siempre, en cuestiones dudosas, el ignorante cree, el mediocre determina, el hombre instruido examina: no teme poner límites al poder de la naturaleza”¹⁴ (BIOT, 1803:7). En última instancia, la idea de Biot es una forma de poner la rúbrica a lo indicado por el pensador romano Marco Tulio Cicerón casi dos mil años antes, en *De natura deorum*, a mediados del siglo I a.e.c.: “El tiempo borra, de hecho, las falsas creencias, y confirma los vestigios de la naturaleza”¹⁵ (Lib. II:cap. II).

5. CONCLUSIONES

1. Las creencias populares en la interpretación de la naturaleza basadas en aspectos míticos y religiosos, han dificultado en gran medida el avance de la ciencia en tanto que han actuado como obstáculos epistemológicos. A esta forma de entender el mundo natural, carente de todo sentido crítico, hay que añadir un escepticismo, muchas veces enfermizo y obsesivo, que llega a negar la realidad, y que, además, renuncia a la comprobación o al examen de las evidencias y de los datos. En muchas ocasiones, esta inhibición se fundamenta en ciertas conjeturas debidas sobre todo a ilustres personajes a los que se les ha dotado de un aura de autoridad.

2. Así ocurrió con la interpretación durante siglos del origen de los meteoritos en su terminología clásica como lluvias de piedras, bolas de fuego o cuerpos meteóricos, que en distintas épocas desde la antigüedad y en el ámbito de diferentes civilizaciones se habían visto caer sobre la Tierra. En un principio se consideraron señales del cielo, malos augurios o presagios divinos en personas con poca instrucción. A pesar de que en numerosos casos hubo informes de testigos oculares y, en consecuencia, constancia histórica, muchos naturalistas preferían aceptar las ideas de ciertas personalidades como pudieron haber sido Aristóteles o Newton. Esta aceptación o fe ciega y acrítica en la autoridad no deja de ser, asimismo, un obstáculo epistemológico, porque, de una forma consciente, o inconscientemente, desvía la atención de la realidad y supone innecesarias investigaciones más profundas al respecto. En el fenómeno que se ha considerado, los informes de los testigos presenciales sobre piedras caídas del cielo se veían como invenciones y supercherías puesto que *en el cielo no había piedras*, de acuerdo con los indiscutibles dictámenes establecidos por los sabios citados anteriormente. Y la única forma correcta de combatir estos obstáculos epistemológicos era recusando la opinión de los Antiguos (y no tan antiguos), desmontando su supuesta autoridad mediante una investigación rigurosa, sin menospreciar cualquier tipo de argumento por muy insignificante que en principio pudiera parecer.

3. Con el transcurso de los siglos, las explicaciones se fueron aproximando a planteamientos cada vez más racionales, pero esto fue, en gran parte, solo en apariencia. Porque los sistemas explicativos, de una forma bastante incoherente, aludían a ideas cuya veracidad nunca se había comprobado directamente (como era el caso de cuerpos sólidos arrojados por los volcanes de la Luna), o carecían de una base sólida que duran-

13. La única referencia que hace SOMERVILLE (1849) sobre Chladni es en relación con la Acústica.

14. Traducción castellana del autor. [Texto original: Toujours, dans les questions douteuses, l'ignorant croit, le demi-savant décide, l'homme instruit examine : il n'a pas la témérité de poser des bornes à la puissance de la nature].

15. Traducción castellana del autor. [Texto original: Opiniones enim commenta delet dies, naturae indicia confirmat]. Resulta cuando menos curioso que esta frase se ha venido repitiendo a lo largo de la historia del pensamiento en diferentes formatos, y se ha aplicado en distintos contextos, pero siempre con el mismo significado. Los ejemplos más memorables pertenecen a personajes de la ciencia que creían estar “en posesión de la verdad”, y el tiempo les fue quitando esa razón de la que tanto presumían. En el caso de Cicerón, la aplicaba coherentemente para distinguir entre las creencias míticas y la realidad.

te siglos tampoco había sido verificada (como la acción de los rayos o de las auroras boreales sobre materiales terrestres).

4. La aparición del trabajo de Chladni, en 1794, provocó la entrada de una corriente de aire fresco en la investigación de este fenómeno. No partía de trabajos prácticos ni de experiencias personales (a excepción de la bola metálica de Siberia), sino de una búsqueda bibliográfica bien documentada. Todas sus ideas se basaban implícitamente en dos principios inherentes a la racionalidad humana: el principio de las causas actuales, y el de la constancia o uniformidad de las leyes naturales. Estos principios metodológicos le permitieron ir refutando las conjeturas planteadas hasta esa fecha, y proponer una nueva hipótesis, el origen cósmico de las piedras meteóricas, explicación sujeta a comprobación a través de diversas investigaciones que consideraba imprescindibles y que nunca habían sido emprendidas por sus oponentes.

5. Las críticas no tardaron en llegar: sus ideas fueron tachadas de ingenuas, atractivas a primera vista, e ingeniosas, pero carentes de sólidos fundamentos; y eso a pesar de la existencia de importantes trabajos geoquímicos y mineralógicos como los de Howard, Bournon y Williams, que constituyeron sus primeros apoyos.

6. En las primeras décadas del siglo XIX, figuras relevantes en la investigación del mundo natural como Laplace, Somerville y Humboldt, entre otros, dieron el respaldo prácticamente definitivo a la obra de Chladni y a su hipótesis del origen cósmico de las bolas de fuego, y al de las rocas que sobreviven a este fenómeno luminoso, conocidas como meteoritos.

7. Durante muchos años, junto a la muestra más importante del meteorito de Ensisheim, caído en 1492, y conservada en la iglesia parroquial de dicha ciudad alsaciana, existía una inscripción latina donde se podía leer:¹⁶ “Muchos han hablado mucho sobre esto, todo el mundo ha dicho algo, nadie ha dicho lo suficiente”.¹⁷ Esta sentencia se podría generalizar para que abarcara prácticamente a todas las muestras de los meteoritos conocidos, ¡hasta la publicación del trabajo de Chladni en 1794! Con este pequeño ensayo, el físico alemán puso los cimientos para que se completara adecuadamente el conocimiento de este fenómeno, dando así un paso decisivo para el nacimiento de una nueva ciencia: la Meteorítica.

AGRADECIMIENTOS

Una vez más estoy en deuda con Alejandro G. Francisco, por la ayuda prestada, con C. S. Bernal, por su generosidad, y con Carmen Julia Hernández por sus atenciones. Agradezco asimismo a los revisores (Jordi Llorca Piqué, Josep M. Trigo-Rodríguez, y un revisor anónimo) las sugerencias propuestas para la mejora de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- ANÓNIMO. 1794. Riga. In: *Göttingische Anzeigen von gelehrten Sachen*, Der zwiten Band, 128. Stüd (den 11. August 1794): 1284-1886.
- ARISTÓTELES. s. IV a. e. c. *Los meteorológicos*. 158 págs. Alianza. Madrid (trad. castellana 1996).
- BIALA, J. 2011. Ernst Florens Friedrich Chladni, the father of meteoritics. *Acta Societatis Metheoriticae Polonorum*, 2: 7-11.
- BIOT, J.-B. 1803 [An XI]. Relation d'un voyage fait dans le département de l'Orne pour constater la réalité d'un météore observé à L'Aigle le 6 floréal an XI. *Mémoires de la Classe des Sciences Mathématiques et Physiques de l'Institut National de France*, 7[Thermidor]: 224-265. [Reproducido como obra independiente en Baudouin. París (1803), 47 págs.].
- BOURNON, J. L. DE. 1802a. Mineralogical descriptions of the various stones said to have fallen upon the Earth; and description of various kinds of native iron. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 92: 180-186.
- 1802b. Description of various kinds of native iron. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 92: 203-210.
- BURKE, J. G. 1991. *Cosmic debris: Meteorites in history*. 455 págs. University of California Press. Berkeley (CA).
- CHLADNI, E. F. F. 1794. *Über den Ursprung der von Pallas Gefundenen und anderer ihr ähnlicher Eisenmassen, und Über Einige Damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen*. 63

16. Después de muchas vicisitudes históricas, este meteorito se encuentra expuesto en el antiguo Palacio de la Regencia (Regentenpalast) de Ensisheim, hoy convertido en museo.

17. Traducción castellana del autor. [Texto original: De hoc multi multa, omnes aliquid, nemo satis].

- págs. Georg Joachim Göschen-Johann Friedrich Hartknoch. Leipzig-Riga. [La ed. de Leipzig ha sido reimpresa como: HOPPE, G., Ed. 1979. *Über der kosmischen Ursprung der Meteorite und Feuerkugeln*. 104 págs. Akademische Verlagsgesellschaft Geest und Portig. Leipzig (2ª ed. 1982)].
- 1798. Observations on a mass of iron found in Siberia by Professor Pallas, and other masses of the like kind, with some conjectures respecting their connection with certain natural phenomena. *The Philosophical Magazine*, Ser. I, vol. II: 1-8. [Resumen crítico en inglés de CHLADNI (1794)].
 - 1804 [An XII]. Réflexions sur l'origine de diverses masses de fer natif et notamment de celle trouvée par Pallas en Sibérie. *Journal des Mines*, 88[Nivôse]: 286-320, y 90[Ventôse]: 446-485. [Traducción francesa completa -y algo libre- de CHLADNI (1794)].
 - 1819. *Über Feuer-Meteore und die mit denselben herabgefallenen Massen*. 434 págs. J. G. Heubner. Viena.
- CICERÓN, M.T. ca. 44 a.e.c. *De natura deorum*. 240 págs. B. G. Teubner. Stuttgart (ed. 1961).
- CRAIG, J. 1849. *A new universal etymological, technological and pronouncing dictionary of the English language: embracing all terms used in art, science and literature*. I. 100 págs. H. G. Collins. Londres, vol II.
- FLETCHER, L. 1894. *An introduction to the study of meteorites, with a list of meteorites represented in the collection*. 94 págs. British Museum (Natural History). Londres.
- HERSCHEL, W. 1802. Observations on the two discovery lately celestial bodies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 92: 213-232.
- HOWARD, E. C. 1802. Experiments and observations on certain stony and metalline substances, which at different times are said to have fallen on the Earth; also on various kinds of native iron. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 92: 168-175, 179-180, 186-203, 210-212.
- HUMBOLDT, A. VON. 1845. *Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung*. 493 págs. J. G. Gotta Verlag. Stuttgart-Tübingen, tomo I.
- IZARN, J. 1803. *Des pierres tombées du ciel, ou Lithologie atmosphérique*. 421 págs. Chez Delalain Fils. París.
- JACQUET, E. 2009. Chladni et les météorites. 20 págs. *Bibnum, Sciences de la Terre*.
- KIRK, G. S., RAVEN, J. E. & SCHOFIELD, M. 1983. *Los filósofos presocráticos*. 702 págs. Gredos. Madrid (trad. castellana 1987, de la 2ª ed. inglesa de 1983).
- KROJER, F. 2009. Lichtenbergs „Favorit-Gedanke“ und Chladnis Meteor-Hypothese. 24 págs. Differenz-Verlag. Múnich.
- LAPLACE, P.-S. DE. 1824. *Exposition du Système du Monde*. 568+448 págs. Bachelier. París (5ª ed. ampliada), 2 tomos.
- LAVOISIER, A. L. DE. 1789. *Traité élémentaire de Chimie*. 659 págs. Cuchet. París.
- LICHTENBERG, G. C. 1797. Steinregen zu Siena. In: *Göttingen Taschen-Calender für des Jahrgang 1797*. J. C. Dieterich. Gotinga, 22: 161-169.
- LLORCA, J. (2003) *Meteoritos y cráteres. Fragmentos de otros mundos que caen en la Tierra*. 189 págs. Milenio. Lleida (trad. castellana 2004).
- MARVIN, U. B. 1996. Ernst Florens Friedrich Chladni (1756–1827) and the origins of modern meteorite research. *Meteoritics & Planetary Science*, 31(5): 545-588.
- 1998. The shower of stones at Siena, 1794: History's most consequential meteorite fall. In: MORELLO, N., Ed. *Volcanoes and history. Proceedings of the 20th INHIGEO Symposium (Napoli-Eolie-Catania, 19-25 September 1995)*: 303-321.
 - 2006. Meteorites in history: an overview from the Renaissance to the 20th century. In: MCCALL, G. J. H., BOWDEN, A. J. & HOWARTH, R. J., Eds. *The history of meteoritics and key meteorite collections: Fireballs, falls and finds*. Geological Society, London, Special Publication, 256: 15-71.
- MCCALL, G. J. H., BOWDEN, A. J. & HOWARTH, R. J., Eds. 2006. *The History of Meteoritics and Key Meteorite Collections: Fireballs, Falls and Finds*. 513 págs. Geological Society, London, Special Publication, No 256.
- NEWTON, H.A. 1865. Abstract of a memoir on shooting stars. *American Journal of Science*, 39(116): 193-211.
- NEWTON, I. 1718. *Opticks, or A treatise on the reflections, refractions, inflections, and colours of light*. 382 págs. W. & J. Inngs. Londres (2ª ed. corregida).
- PALLAS, P. S. 1776. *Reisen durch verschiedene Provinzen des Russischen Reichs, 1771–1773*. 488 págs. San Petersburgo, Kaiserliche Akademie der Wissenschaften, vol. 3, N° 2.
- PLINIO EL VIEJO. 77 e.c. *Historia Natural*. 485 págs. Gredos. Madrid (trad. castellana 1995), Libros I y II.

- PLUTARCO. s. II e.c. Lisandro. *In: Vidas paralelas*. 512 págs. Gredos. Madrid (trad. castellana 2007), vol.V.
- RUBIN, A. E. & GROSSMAN, J. N. 2010. Meteorite and meteoroid: New comprehensive definitions. *Meteoritics & Planetary Science*, 45(1): 119-122.
- SOLDANI, A. 1794. *Sopra una piogetta di sassi accaduta nella sera de' 16. Giugno del MDCCXCIV. in Lucignan d'Asso nel Sanese Dissertazione*. 288 págs. Francesco Rossi. Siena.
- SOMERVILLE, M. 1831. *Mechanism of the heavens*. 632 págs. John Murray. Londres.
- 1849. *On the connexion of the Physical Science*. 524 págs. John Murray. Londres (8ª ed.).
- SOTER, S. & TYSON, N. DE G., Eds. 2001. Chladni and the rocks from the sky. *In: Cosmic horizons: Astronomy at the cutting edge*. 253 págs. The New Press. Nueva York.
- TERZAGO, P. M. 1664. *Musaeum Septalianum: Manfredi septalae patritii Madiolanensis industriosi labore constructum*. 342 págs. Typis filiorum ad Elisei Viola. Dertonae [Tortona].
- TRIGO-RODRÍGUEZ, J. M. 2012a. *Las raíces cósmicas de la vida*. 241 págs. Edicions UAB. Barcelona.
- 2012b. *Meteoritos*. 128 págs. Catarata-CSIC. Madrid.
- Coord. 2013. *Meteoritos* (monográfico). *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21(3): 234-330.
- 2019. The flux of meteoroids over time: meteor emission spectroscopy and the delivery of volatiles of chondritic material to Earth. *In: COLONNA, G., CAPITELLI, M. & LARICCHIUTA, A., Eds. Hypersonic meteoroid entry Physics*. Institute of Physics Publishing, IOP Series in Plasma Physics, cap. 4: 4.1-4.23.
- ULLMANN, D. 1983. *Ernst Florens Friedrich Chladni*. 77 págs. B. G. Teubner. Leipzig.
- 2007. Life and work of E. F. F. Chladni. *The European Physical Journal Special Topics*, 145: 25-32.
- WILLIAMS, J. L. 1802. Account of the explosion of a meteor, near Benares, in the East India; and of the falling of some stone at the same time, about 14 miles from that city. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 92: 175-179.