

HIPÓTESIS ASTRONÓMICA AL MISTERIOSO “RUIDO” ESCUCHADO EN SANTAFÉ DE BOGOTÁ EL DOMINGO 9 DE MARZO DE 1687

por

Freddy Moreno Cárdenas¹ & José Gregorio Portilla Barbosa²

Resumen

F. Moreno, J. G. Portilla: Hipótesis astronómica al misterioso “ruido” escuchado en Santafé de Bogotá el domingo 9 de marzo de 1687. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **30** (116): 321-330. 2006. ISSN 0370-3908.

Crónicas históricas revelan la ocurrencia de un fenómeno sónico en Santafé de Bogotá en la noche del 9 de marzo de 1687 cuya novedad e intensidad despertó y aterrorizó a la población la que en el momento no pudo aportar explicación alguna y cuyo misterio sobre su origen, con el correr de los años, se fue acentuando. En la presente comunicación proponemos la idea de que el fenómeno en cuestión fue producido por la entrada y posterior explosión de un pequeño meteoróide sobre el cielo de la ciudad. Esto se sustenta a partir de las evidencias escritas dejadas por los relatores de la época, su comparación con fenómenos similares sucedidos en diversas regiones del planeta y del hecho de que choques de estos pequeños objetos con la atmósfera terrestre son relativamente frecuentes.

Palabras clave: Entrada de meteoroides, tiempo del ruido, fragmentación catastrófica, meteorito, estampido sónico, bola de fuego.

Abstract

Historical accounts reveal the existence of a strange sonic phenomenon in Santafé de Bogotá on the night of March 9 1687. The intensity and novelty of the event frightened the local population which at the moment could not explain the true nature of the “noise”. As time went by, the riddle of the phenomena has been accentuated. We propose here the theory that the sonic phenomenon was produced by entry and then destruction of a small meteoroid over the sky of the city. Such proposal is supported by the historical accounts, comparisons with other similar sonic phenomena occurring in many places on the Earth and the fact that collisions of these small objects with the terrestrial atmosphere are relatively frequent.

Key words: Entry of meteoroids, time of the noise, catastrophic disruption, meteorite, sonic boom, fireball.

Introducción

La presidencia de Don Gil de Cabrera y D´avalos (1686-1703) fue recibida por un extraño fenómeno sónico, que estremeció y horrorizó a la población de Santafé de Bogotá dejando con ello huellas que perduraron por mucho tiempo en los habitantes sabaneros de posteriores generaciones. Aunque los cronistas e historiadores están de acuerdo

en que el fenómeno no produjo pérdidas humanas ni daños a la infraestructura de la ciudad, se creó un aire anecdótico alrededor del caso —el evento generó pánico en todos los habitantes de la ciudad por su novedad e intensidad, además del hecho de que no fue posible explicar su origen de forma satisfactoria— y marcó en la memoria colectiva aquella época como “el tiempo del ruido”, referencia bien conocida hasta hace poco por la mayoría de los bogotanos (Ibañez, 1991).

¹ Coordinador del Centro de Estudios Astrofísicos (CEAF) del Colegio Gimnasio Campestre, email: ceaf@campestre.edu.co

² Observatorio Astronómico Nacional, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, e-mail: jgportillab@unal.edu.co

Puede afirmarse que el suceso creó un auténtico caso de pánico colectivo en los habitantes de Santafé el cual fue documentado por los sacerdotes jesuitas Juan Ribero (1681-1736) y Josefa Cassani (1673-1750). El primero llegó al Nuevo Reino de Granada a principios del siglo XVIII como misionero; estuvo en Santafé, Tunja, Honda y Mirapox. Desde 1730 participó en las misiones del Casanare y el Orinoco, en donde, además de evangelizar a los indígenas de la región, dedicó tiempo para el estudio de las lenguas de los nativos botogés, sátricos, achaguas y salivas. Joseph Cassani, a pesar de que nunca estuvo en el Nuevo Reino, transcribió documentos enviados por los jesuitas que sí residieron allí. Como es claro, ninguno de los cronistas fue testigo del fenómeno que nos ocupa; sin embargo, Ribero sí estuvo en Santafé 23 años después y recogió, se presume evidentemente, los relatos de los testigos presenciales del evento y los pormenores del mismo. Se cree que escribió el relato sobre el "ruido" (Ribero, 1736) entre los años 1728 y 1736, es o es, entre 4 y 5 décadas después de acaecido el evento.

Cassani (1741) publicó, pocos años después, una extensa compilación con base en documentos y relaciones que enviaron cronistas en el Nuevo Reino. Sin embargo, la narración que registra con relación al "ruido" es prácticamente la misma que hace Ribero. Hay evidencias que indican que la fuente primaria y más confiable del fenómeno que nos ocupa está contenido en el relato de Ribero y que a su vez éste está basado en la memoria o el registro de personas que fueron testigos presenciales del suceso y que ofrecieron a Ribero la versión de los hechos casi medio siglo después de acaecido el evento. Por demás, el fenómeno no dejó la más mínima huella en el terreno ni ningún otro rastro detectable, por lo que lo único que sabemos de él se apoya por entero en la memoria (o el registro) de los habitantes que vivían por entonces en la ciudad. No hace falta, entonces insistir en la seria limitación que se nos ofrece de entrada: la confiabilidad de los relatos en aproximarnos a lo que realmente acaeció, dadas las circunstancias que acabamos de señalar, resulta afectada por la tendencia de los testigos a exagerar y tergiversar (ver más adelante) un evento completamente inusual y carente de explicación cuyo efecto provocó conmoción y terror en toda la ciudad. Es claro que los relatos de tales testigos, en su mayoría personas de poca o nula instrucción, resultan, con el paso del tiempo, ampliados y deformados. Además, es de suponer que los cronistas llevaron al papel tales relatos fielmente, pero no se descarta que ellos mismos hayan añadido algo de su inventiva para hacer la crónica más pitoresca y literariamente más agradable. Por supuesto, de esto último no tenemos la más mínima evidencia y si de entrada desconfiamos de todo o que las crónicas contienen no llegaremos a ningún lado; pero es preciso tener en cuenta un par o que al parecer no ha sido tomado demasiado en serio por posteriores historiadores e investigadores y es que algo de la información contenida allí puede ser notablemente

exagerada y tergiversada (aunque no sabemos qué) y que la aceptación literal de todo lo allí contenido puede ofrecer pistas erróneas a la correcta solución del problema.

La verdad es que se dispone de muy pocos datos con relación a la naturaleza del ruido. Las crónicas a las que hemos hecho referencia hacen particular énfasis en relatar el peculiar comportamiento de los habitantes frente al inusual fenómeno y su posterior cambio de costumbres y actitudes hacia sus congeneres a los que dio lugar, que ofrecer una descripción pormenorizada que pueda brindar indicios sobre el origen real del ruido. De acuerdo con los relatos, después de un día con "cielo sereno y el aire sin turbación" y "sin que precediese la menor señal de mudanza del tiempo, como a las diez de la noche comenzó un extraño ruido en la tierra, en el aire o en el cielo, pues esto nadie lo supo" y prosiguió por "el espacio de un cuarto de hora" (Ribero) o "más de un cuarto de hora y aun cerca de media hora" (Cassani). El ruido debió ser de muy alta intensidad pues "no hubo persona a quien no espantase y que no le oyesse". El ruido en cuestión se escuchó en toda la ciudad y en "muchas leguas de su contorno", tan intenso "que cuantos le oyeron asombrados y atónitos, no se acuerdan de haber oído cosa igual". Un dato adicional es interesante: "todo el tiempo que duró este rumor se esparció por el aire un pestilencial hedor de azufre, que ofendía al sentido; de ello fueron testigos todos aquellos a quienes bastó el ánimo para estar sobre sí".

Es evidente que la descripción del fenómeno no es muy detallada; pero tal como lo poca información de que se dispone es importante, igualmente valioso es también lo que no aparece consignado. Es permisible entonces que se puedan aventurar algunas conclusiones sencillamente por ausencia de registro, y que, de haberse presentado, casi que con seguridad se hubiesen recordado y por ende anotado. De esto se deduce entonces que el fenómeno no originó en la ciudad y sus alrededores cambios en la atmósfera (no se presentó lluvia, tormenta eléctrica y luces en el cielo), ni movimientos telúricos, ni desprendimientos de rocas, ni actividad volcánica, ni incendio. Adicionalmente, no hubo heridos ni muertos ni daños estructurales a las edificaciones.

Explicaciones e hipótesis

El cronista a Ribero anotó varias hipótesis que los habitantes de Santafé ofrecieron para explicar el fenómeno. Entre ellas están la invasión de un ejército extranjero cuyos tiros de artillería, a "modo de descarga cerrada" podrían explicar el ruido (hipótesis que fue tomada en un inicio muy seriamente por el Presidente, cuya reacción fue reunir un cuerpo armado y dirigirlo hacia las zonas de la ciudad donde, según algunos, fue más intenso el ruido); otras hipótesis explican el suceso en términos de una creciente de un río caudaloso, o el despoñamiento de rocas por las fallas de los cerros de la ciudad, etc. Sin embargo, Ribero parece conformarse con dar una explicación en términos de

una intervención de potestades infernales, para la cual se basa en el fuerte olor a azufre (asociado a la presencia del mal): "lo más probable o lo más cierto parece haber sido un ejército o legión de demonios" cuyo objetivo no era otro que "horrorizar y amedrentar a los hombres", siendo no más este un acto de advertencia hacia los pecadores: "fue un amago sólo", pues para Ribero la descarga del todopoderoso se hizo sentir de verdad unos pocos meses después, con el terremoto del 20 de octubre de 1687 ocurrido en el Virreinato del Perú, donde las pérdidas en vidas y bienes fueron cuantiosas.

Cassani sugiere una explicación más terrenal. Anotó que tal "como el terremoto es aire oprinido en la tierra, que busca puerta, o boca para salir a su esfera, y como la opresión del aire se hace por su rarefacción, y la rarefacción se causa con el calor, se produce el fuego subterráneo, encendido algún material de azufre en el seno de la tierra, o en la misma ciudad de Santafé, o allí cerca, empezó a rarefacerse el aire, y rarefacto a moverse y de él se originó aquel ruido en las concavidades de la tierra, pues no encontrando las venas por donde averarse, hacía esfuerzo para buscarlas y hallar su salida: y como crepó aquí la rarefacción, como el movimiento no tuvo la suficiente fuerza para romper, ni aún mover la tierra en Santafé, se rarefactó mucho más aire en Lima, Callao y otras circunvecinas lugares, allí revató el estrago...".

El mismo Cassani vagamente discute —y desecha— un origen del fenómeno relacionado de alguna forma con un extraño evento en la atmósfera; anotó: "cierto que las historias, por entusiasmadas cuentan diferentes meteoros, y que se hallan en los libros algunos casos, que han parecido milagros por lo raros, y se lee, que se han oído truenos en tiempos sumamente serenos... y dicen que había nube, cuya raridad, y color era objeto de la vista, pero aún densidad bastante para encerrar dentro de sí aire, que cuando reventaba para salir, ocasionaba ruido. Con esto quedan bastante satisfechos los autores, si bien a mí siempre me ha hecho disonancia; que el aprie o obligue a salir de una dificultad, entrando en otra mayor, era, es conocer mayor viveza al oído, que a la vista; a estos autores los quisiera oír en el caso presente, que no solamente se oyó el ruido, sino que se oía el hedor, o el azufre, y no exhalando este su olor sin fuego, aumenta mucho la dificultad, que no conociendo vista nube, ni divagando fuego, percibiesen sensiblemente el oído y el olfato sus efectos".

El padre **Ramírez (1975)**, eminente geofísico, en su clásico libro *Historia de los terremotos en Colombia*, aunque incluye el fenómeno dentro de su listado de sucesos sísmicos en el siglo XVII, no tiene otra opción que admitir que el ruido no ocasionó movimiento de tierra y clasifica el ruido de 1687 como un "fenómeno atmosférico".

Una hipótesis propuesta recientemente atribuye el ruido a un represamiento y posterior creciente de un río cercano a Santafé. **Espinosa (1994)** propone que en aquella noche el río San Cristóbal (también llamado Fucúa) fue el causante de tal temor; sin embargo, como reconoce el mismo autor, no se han encontrado documentos probatorios que describan tal creciente ni mucho menos las huellas geológicas que debió haber dejado la creciente. Una debilidad adicional de esta teoría es que el crucial de un río como los que bañar la sabana no puede explicar satisfactoriamente que el ruido fuese sentido a varias leguas a la redonda.

Ocampo (2001) aunque cita las crónicas de Ribero, Cassani y el trabajo de Espinosa, termina refiriendo el suceso como una leyenda propia de la época colonial, y por lo tanto envuelta en el misterio y en lo inexplicable³.

Una posibilidad, que no ha sido contemplada hasta la fecha y que proponemos aquí, es la que el ruido fue ocasionado por la entrada de un pequeño asteroide o cometa (meteoroides) y su ablación y posible desintegración total en las capas bajas de la atmósfera. Dicho proceso puede generar un estallido sónico (o secuencia de estallidos) de gran intensidad que en algunos casos puede generar movimientos sísmicos. Como mostraremos a continuación, eventos de esta naturaleza no son raros, como lo evidencian, por un lado, el conocimiento cada vez más creciente de la población de pequeños asteroides y cometas cercanos a la Tierra y los múltiples avistamientos y registros de estas entradas, por otro.

Objetos cercanos a la Tierra

Como es sabido, el espacio interplanetario está poblado por gran cantidad de material remanente de la formación de los cuerpos principales del Sistema Solar (SS). Entre las órbitas de estos cuerpos principales (Sol y planetas mayores) están los asteroides y cometas que poseen tamaños que están por encima de los 10 metros de diámetro. Objetos asteroidales y cometarios con tamaños comprendidos entre 1 mm a 10 metros se denominan meteoroides y su población es bastante numerosa. Todos estos objetos poseen trayectorias que evolucionan en el tiempo, merced principalmente, a la atracción gravitacional de los cuerpos aleaños, y en tiempos tan breves como 10^7 años sufrirán una colisión con alguno de los cuerpos principales o, en el mejor de los casos, un fuerte acercamiento a uno de ellos que los conduzca a una eyección del SS. El proceso de colisión del meteoroides con un planeta dotado de atmósfera produce inicialmente un *meteoro* que no es otra cosa que el fenómeno visual asociado al paso energético de dicho meteoroides a través de la atmósfera. Es frecuente encontrar en la literatura los términos *bola de fuego* (fireball) y *bólide*

³Incluso Gabriel García Márquez (**García Márquez, 1975**) en su obra de ficción sobre un dictador colombiano, propone una explicación del ruido asociado con el tono general de esta obra.

(bólide). El primer término es reservado para un meteorito muy brillante, generalmente más brillante que 3 ó 4. Si la bola de fuego explota en una chispa terminal, que típicamente se extingue con fragmentación visible, entonces se le llama bólide (Martínez-Frías y Madero, 2004). Un meteoróide, atravesando una atmósfera cada vez más densa, sufre una enorme fuerza de resistencia que genera fricción que a su vez, debido a las altas temperaturas, consume el objeto, originando fragmentación y ablación. En algunas ocasiones el fenómeno es tan intenso que el meteoróide de cierto tamaño se volatiliza casi instantáneamente generando un fenómeno conocido como fragmentación catastrófica cuya liberación simultánea de energía se equipara a la de una pequeña bomba atómica. En otros casos, el material no se consume completamente y lo que queda de él alcanza a llegar hasta la superficie del planeta: se tiene un meteorito.

Un buen número de cometas, tanto activos como extintos, y asteroides (particularmente estos últimos) poseen órbitas heliocéntricas que pueden con el tiempo interceptar la órbita de la Tierra. Este tipo de objetos no pueden permanecer en el SS interior en tiempos que excedan los 10^7 años, por las razones que comentamos arriba y, dado que el SS posee una edad de 4.5×10^9 años, se desprende que debe existir, por un lado, fuentes que suministren material asteroidal y cometario al SS interior, y por otro, mecanismos que permitan el transporte de dicho material a sectores cercanos a la órbita terrestre. La fuente asteroidal es el principal cinturón de asteroides (Strom et al., 2005), ubicado entre las órbitas de Marte y Júpiter; mientras que la fuente cometaria parece ser el cinturón de Kuiper (Morbidelli, 1999), más allá de Neptuno, aunque algo puede también provenir de la nube de Oort (Levison et al., 2002), a varias decenas de miles de u.a. (unidades astronómicas). Los mecanismos de transporte dinámico parecen ser los siguientes (Tottke et al., 2000): los fragmentos originados por choques de asteroides en el cinturón principal son directamente inyectados o lentamente transportados por efecto efecto Yarkovsky (Farinella y Volkrouhlický, 1999) a sectores de resonancia tanto medias (con las planetas) como seculares, donde las resonancias orbitales son commensurables con las frecuencias naturales del SS. De aquí pueden convertirse en objetos que atraviesan la órbita terrestre por cualquiera de las siguientes fuentes: i) as enóides en resonancia de movimiento medio 3:1 con Júpiter; ii) asteroides en la resonancia secular ν_6 ; iii) asteroides en órbitas que cruzan Marte adyacentes al cinturón principal y iv) en menor escala asteroides en la resonancia de movimiento medio 5:2 con Júpiter. Todos estos asteroides experimentan modificaciones en sus excentricidades e inclinaciones tanto por perturbaciones resonantes como por encuentros planetarios hasta que alcanzan la región orbital cercana a la Tierra.

Por lo tanto, el sistema Tierra-Luna está propenso a

⁴<http://cfa-www.harvard.edu/low/1373/Unusual.html>

recibir el impacto de una población asteroide-cometaria que se conoce con el nombre de objetos cercanos a la Tierra (OCT). Desde el punto de vista de la geometría orbital los OCT son cuerpos con $q \leq 3$ u.a. y $Q \geq 0.983$ u.a. (siendo q y Q la distancia al perihelio y al afelio, respectivamente). Es conocida las subcategorías de los OCT (Rabinowitz et al., 1991): Apolos ($a \geq 1.0$ u.a., $q \leq 1.0167$ u.a.), Atenas ($a < 1.0$ u.a., $Q \geq 0.983$ u.a.) y Amores ($1.0167 < q < 1.3$ u.a.), donde a es el semieje mayor de la órbita. El descubrimiento de estos objetos en términos de menos de un siglo ha sido espectacular, particularmente en los últimos años. El primero de estos objetos (Atena) fue descubierto en 1918. Para mediados de 1982 se conocían 49: 4 Atenas, 30 Apolos y 15 Amores y se descubrían a una tasa de 3 por año (Shoemaker, 1983). A finales del mes de diciembre de 2005 se contaban 3742: 313 Atenas, 1821 Apolos y 1608 Amores y se descubrían a una tasa de 2-3 por día⁴. Este dramático aumento en descubrimientos obedece a un creciente interés de la comunidad astronómica internacional (Carusi et al., 1991; Bowell & Muinonen, 1994) que ha puesto en marcha grupos de trabajo para fomentar estrategias tendientes a detectar y rastrear objetos que potencialmente puedan ocasionar una catástrofe global del tipo que produjo la extinción masiva en la frontera cretácico-terciaria (Alvarez et al., 1980).

Evidentemente estos objetos, con gran diversidad de tamaños, impactan con frecuencia nuestro planeta. De hecho, el material extraterrestre que más choca con el planeta posee tamaños microscópicos. En tal sentido no se habla propiamente de erisiones sino más bien de un proceso de acreción. Se estima que en un año al planeta Tierra ingresa una masa de $40 = 20 \times 10^6$ kg para un rango de partículas comprendida entre 10^{-9} a 10^{-4} g (Love y Brownlee, 1993), las cuales esencialmente llegan a la superficie terrestre sin alteración. La masa total de meteoróides de todos los tamaños que ingresa a la Tierra es estimada entre 49×10^6 y 56×10^6 kg/año (Esser y Turekian, 1988), aunque estimaciones más recientes la colocan en el rango de 170×10^6 kg/año (Ceplecha, 1992). Cuerpos de mayor tamaño (≥ 1 mm) experimentan una fuerte desaceleración por parte de la atmósfera terrestre con el consiguiente aumento de temperatura y presión que bien puede servir a fragmentar el objeto. Puede entonces ocurrir dos cosas (siempre y cuando el objeto no exceda ~50-100 m de diámetro), dependiendo del tamaño, constitución química y física, ángulo de entrada y velocidad. En primera, si el objeto sobrevive a vuelo hipersónico, cae por gravedad para convertirse en un meteorito o en una lluvia de meteoritos. Cálculos recientes indican que ingresan al planeta del orden de 13700 meteoritos con masas mayores de 100 g, pero de estos normalmente se recuperan sólo 5 ó 6 (Halliday, 2001). La probabilidad de que estos objetos caigan sobre un ser humano es muy baja; sin embargo Lewis (1997), quien realizó una búsqueda

exhaustiva a través de los registros históricos, reporta un listado de eventos (p. 176-182) con un número no despreciable de bajas humanas y animales así como daños a la propiedad. La segunda cosa que puede ocurrir es que el objeto experimente fragmentación catastrófica: explote con violencia en la atmósfera antes de que llegue al suelo. Un caso muy conocido de este tipo es el evento Tunguska, sucedido el 30 de junio de 1908 en Siberia central (Vasilyev, 1998) que consistió inicialmente en un vuelo típico de una bola de fuego con la consecuente explosión a una altura comprendida entre 5-10 km. La energía liberada se estima en el rango de los 15 megatones (1 megatón equivale a 4.18×10^{15} joules); lo suficientemente intensa como para haber arrasado más de 2100 km² de bosque y generar diversos fenómenos geofísicos tales que se detectaron a centenares de kilómetros del sitio de la explosión. Integraciones numéricas que simulan la entrada de objetos con decenas de metros de diámetro muestran que explosiones del tipo Tunguska son fuertemente dependientes de la naturaleza cometaria o asteroidal (léase densidad y cohesión) del objeto en cuestión: objetos cometarios explotan por encima de los 20 km de altura, mientras que asteroides metálicos pueden alcanzar el suelo y generar cráter de impacto; Tunguska sería generado por un asteroide rocoso (Chyba et al., 1993). Más adelante se profundizará sobre las explosiones de gran potencia que ocurren en las capas altas de la atmósfera.

Objetos con mayor tamaño no logran ser retenidos por la atmósfera terrestre y producen cráteres de impacto. A mayor tamaño, mayor potencia destructiva. Se estima que un objeto con un diámetro entre 1 y 5 km puede desestabilizar el ecosistema global y amenazar seriamente la continuidad de la civilización humana (Chapman y Morrison, 1994). Pero esto es otro asunto.

Interacción entre un meteoróide y la atmósfera

Entre las manifestaciones usuales que se han visto durante la caída de un meteorito o el paso de un meteoróide a través de la atmósfera están la emisión de radiación electromagnética, explosiones y ruidos, nubes de polvo, olores y, por supuesto, la roca, si ésta no se consume durante su paso por la atmósfera y llega finalmente al suelo. En cuanto al sonido producido Sears (1978) los clasifica en tres clases: una explosión inicial o conjunto de explosiones; una serie de explosiones más pequeñas descritas como redobles; y ruidos en forma de silbidos. Las fuertes explosiones percibidas por los observadores en tierra son atribuidas a ondas de choque originadas por la interacción del objeto viajando a velocidad hipersónica a medida que interacciona con la atmósfera terrestre, efecto conocido comúnmente como estampido (*boom*) sónico. Es posible que la explosión original se deba al estampido sónico producido por la masa principal que aún no sufre fragmentación o ablación de forma significativa. Las explosiones subsiguientes en forma de redobles se atribuyen a estampido sónico de los

objetos originados por la fragmentación del cuerpo principal.

La observación inicial que los ruidos y los redobles son escuchados poco después de que se observa la bola de fuego, lo que es de esperarse teniendo en cuenta la diferencia de velocidades existente entre la radiación electromagnética y el sonido. El tercer tipo de sonido (los silbidos) constituye un problema interesante, pues son escuchados simultáneamente con el fenómeno visual de la bola de fuego; la explicación de este fenómeno (llamado ruido electrofónico) aún no se ha logrado de forma satisfactoria.

En algunos casos el estampido o estampidos provenientes de la explosión de un meteoróide es tan fuerte que las ondas de sonido alcanzan a llegar al suelo y se propagan a través de este, generando así un pequeño sismo, los cuales son fáciles de detectar a través de redes de sismómetros.

La emisión de luz que hace tan llamativo desde el punto visual al meteorito es otra manifestación corriente de la interacción del meteoróide con la atmósfera. Es frecuente referirse entonces al meteorito como una bola de fuego (*fireball*) muy luminosa. Siguiendo a Sears (1978) esto se debe a dos procesos: i) emisión de línea de algunos elementos que conforman el meteoróide, tales como el hierro y el sodio y ii) aire ionizado altamente calentado (léase emisión de nitrógeno y oxígeno en diversas etapas de ionización) que ocupa un gran volumen y que es en últimas lo que se detecta visualmente. Sin embargo, la descripción de colores para distintos tipos de eventos presenta una amplia gama cromática: desde amarillo, pasando por verde hasta naranja oscuro y rojo.

Otra manifestación usual es la cola de polvo que se observa siguiendo la bola de fuego. Esto se debe a la fusión y evaporación de la superficie del meteoróide y en ocasiones es descrito como una fina y continua senda de polvo; en otras se ve el rastro que perdura por varios minutos y en otras puede formar nubes oscuras.

Finalmente, la entrada de los meteoroides puede producir en algunos casos olor. Es un rasgo que es común en los reportes antiguos, y sólo ocasionalmente mencionado en relatos recientes. El olor es por lo general descrito como sulfuroso aunque también se menciona como metálico, caca, hollado, etc. Se ha propuesto que el olor es causado por la combustión de sulfuros en el meteorito o por la reacción de aire ionizado para producir ozono.

Detección actual de meteoroides en la atmósfera

Hoy en día se han elaborado toda una serie de estrategias tendientes a la detección y monitoreo rutinario que se realiza conjuntamente con fotografías, observaciones por video, datos sísmicos, grabaciones de infrasonidos y observaciones por satélites de alerta temprana que han permitido hacernos una idea más cercana sobre la frecuencia y libe-

ración de energía de meteoroides entrando a la atmósfera (Tagliaferri *et al.*, 1994). Dichas detecciones, en particular con satélites geostacionarios, han permitido conocer más sobre la naturaleza orbital y el tamaño de los responsables de las explosiones que ellos generan. La observación de dos explosiones sobre los cielos de la isla Kosrae (Micronesia) a alturas de 34 y 21 km respectivamente, provenientes de un mismo objeto acaecida el 1 de febrero de 1994 y realizada por satélites con sensores infrarrojos y ópticos, muestran que el responsable fue un meteoroide con una órbita de tipo Apolo que entró a una velocidad de 24-25 km/s y poseía un tamaño entre 4 y 13 m de diámetro. La energía total liberada fue estimada en 4.8×10^{13} joules = 1 kiloton (Tagliaferri *et al.*, 1995), aunque otros lo estiman entre 1.4×10^{14} a 2.6×10^{14} joules = 34 a 630 kiloton (McCord *et al.*, 1995).

Una valoración de la tasa de impactos de meteoroides que puedan originar energías del orden del kilotón o más fue presentada por Nemtchinov *et al.* (1997) basados en la detección de explosiones en las capas altas de la atmósfera por parte de satélites, entre los años 1994 y 1996. Ellos estiman que el número de explosiones con energías entre 0.25 a 1 kiloton sobre toda la superficie de la Tierra es de 25 por año. Eventos con energías entre 3 y 10 kilotonas sólo se dan 2 a 3 por año. Una extrapolación de sus datos concluye que un evento con liberación de energía de 1 megatón debe presentarse una vez en 17 ó 40 años. Un reporte que comprende más datos de detección por satélites artificiales extendidos hasta septiembre de 2002 fue presentado por Brown *et al.* (2002a) quienes aseguran que la mayor fuente de objetos que chocan con la Tierra es de naturaleza asteroidal más que cometaria; objetos de origen cometario constituyen una pequeña contribución al flujo de objetos que chocan con la Tierra comprendidos entre 1 y 10 m de diámetro. La muestra extendida de datos permite una nueva estimación de liberación de energía: la Tierra se ve sometida a un impacto anual de un objeto con energía del orden de ~5 kilotonas e impacta cada mes con objetos que generan 0.3 kilotonas. Sólo cada 10 años un objeto de ~50 kilotonas choca con la Tierra.

Igualmente importante a la observación con satélites es la detección simultánea de los mismos con fotografías, sismómetros y otras técnicas. Brown *et al.* (1996) presenta un estudio de la caída del meteorito de St-Robert (Québec, Canadá) ocurrido el 15 de junio de 1994. Este meteoroide penetró a la atmósfera con una velocidad de 13 km/s detonando a una altura de 36.2 km. Residentes en el área cercana a la caída reportaron escuchar una detonación fuerte y en algunos casos unos 3-4 segundos precediendo o siguiendo la principal detonación. Múltiples detonaciones fueron escuchadas a distancias de hasta 30 km de la elipse de caída. Se estima un diámetro del objeto entre 0.4 a 0.5 m. Una entrada de meteoritos muy documentada es la caída del lago Tagish, verificada el 18 de enero de 2000, que fue ampliamente observada en Alaska y en los territorios del noroccidente de Canadá. En esta ocasión fue producida por

un meteoroide con un tamaño entre 4 y 6 m de diámetro de tipo Apolo (con distancia afélica bien en el interior del cinturón principal de asteroides) y cuya velocidad de entrada fue cercana a los 16 km/s (Brown *et al.*, 2000). La energía liberada fue estimada en 2×10^{13} joules (5 kilotonas). De acuerdo con el relato de testigos, la bola de fuego duró unos 15 s, a la que siguió unos pocos minutos después una serie de fuertes detonaciones que alcanzaron a mover el terreno. También se reportaron olores descritos como sulfurosos, tanto en el momento de la observación como poco después incluso hasta distancias como 100 km de la proyección al terreno de la trayectoria de la bola de fuego (Hildebrand *et al.*, 2000). Los sonidos alcanzaron a escucharse a unos 200 km de dicha proyección. Los meteoritos y muestras recogidas (más de 600 fragmentos) alcanzaron a sumar tan sólo 5 kg de una masa de pre-entrada estimada en 9×10^4 kg. Sin embargo, las muestras recolectadas muestran que este objeto es de naturaleza poco usual: sus valores de densidad y porosidad están entre los más bajos reportados por meteoritos llegándose a la conclusión que este objeto es un eslabón entre los objetos cometarios y los objetos asteroidales más débiles (Brown *et al.*, 2001). Reportes de detección de dos entradas energéticas de meteoroides tanto por infrasonido como por satélites de alerta temprana, sus estimaciones de liberación de energía y la importancia del monitoreo de estos eventos para efectos de cumplimiento de los tratados de prohibición de ensayos de armas nucleares son presentadas por Brown *et al.* (2002b). Un análisis presentado por Becch (2003) sobre el archivo de Millman, una colección de casi 4000 reportes de meteoros vistos en Canadá entre 1962 y 1989 es muy revelador. Estadísticamente hablando se desprende que de 14 bolas de fuego observadas sólo una de ellas produce algún tipo de sonido. De aquellas bolas de fuego que vienen acompañadas de un estampido sónico, sólo un 13% de los observadores realmente escuchan los estampidos a un nivel lo suficientemente distintivo como para hablar de ellos. También se deduce que más bolas de fuego se registran en la parte final del año, con conteos especialmente altos ocurriendo en los meses de agosto, noviembre y diciembre. Es posible que estos conteos sean una reflexión de la ocurrencia de las Perseidas, Auridas, Leonidas y Gemínidas, todas estas lluvias de meteoros que se sabe poseen alta capacidad de producir bolas de fuego.

Para terminar esta sección mencionamos el estudio realizado por Pack *et al.* (2004) de la explosión de un meteoroide sucedida el 27 de marzo de 2003 sobre los cielos nocturnos de Illinois, Estados Unidos. De hecho, este evento produjo la mayor caída de meteoritos sobre un área demarcadamente poblada registrada en la historia reciente. Su energía fue del orden de 0.34 kilotonas liberada fundamentalmente entre 34 hasta 18 km de altura lo que hizo iluminar el cielo hasta niveles diurnos y generó grandes estampidos sónicos que fueron escuchados sobre un área extensa. El objeto en cuestión, un meteoroide de unos 1.6 m de diámetro, al igual que todos aquellos meteoroides a los que se les ha logrado

medir velocidades y trayectorias de entrada, junto con sus órbitas de pre-choque, son consistentes con trayectorias de OCT de tipo Apolo.

Una selección de registros de entrada de meteoroides

En la literatura sobre meteoritos se puede encontrar innumerables relatos provenientes de muchos testigos a través del tiempo que describen eventos que son notoriamente semejantes en algunos aspectos a los comentados por los cronistas Ríbero y Cassani. En esta sección presentamos una selección de algunos de ellos extraídos en su mayoría de Lewis (1997) y de Sears (1978) – el segundo y el tercero que creemos son importantes aquí para efecto de ilustrar al lector que no está familiarizado con el contenido de dichos reportes.

- Constantinopla, actual Estambul, Turquía (472): “Era una tarde clara y caliente... pero de repente el cielo brilló más que el Sol. Un extraño sí bido parecía provenir de todas partes. Miles miraron hacia arriba en buses del nuevo Sol. Sobre ellos una bola blanca fue creciendo... Los espectadores, cegados por el brillo, quemados por su enorme calor cubrieron sus ojos y gritaron aterrorizadas... de repente un tremendo golpe castigó la ciudad, arrojando a los peatones al suelo, cerró las puertas y destruyó las ventanas... una onda de choque atravesó la ciudad y sus puertos sacudiendo los botes en el agua. Un viento sulfuroso y caliente como una puerta abierta del infierno, el aliento del huracán cósmico... pasó atravesando la ciudad...”
- Barbotan, Francia (24 de julio, 1790): “Al mirar hacia arriba observamos, casi en el cenit, una bola de fuego más grande que el diámetro de la luna llena. Dejaba tras de sí una cola de cerca de 5 ó 6 veces su tamaño y cuyo brillo decrecía gradualmente... dos segundos después se dividió en varias partes de considerable tamaño cayendo en diferentes direcciones, todos esos fragmentos se extinguieron en el aire, y algunos de ellos tomaron un color rojo sangre... cerca de tres o quizás dos minutos y medio después... escuchamos un espantoso trueno, o más bien una explosión como si varias y grandes piezas de artillería hubieran sido disparadas al tiempo... algún tiempo después, cuando esto había cesado, escuchamos un ruido reverberante, el cual parecía rodar sobre las montañas de los Pirineos en forma de eco... al mismo tiempo percibimos un fuerte olor a azufre”.
- Limerick, Irlanda (10 de septiembre, 1813): “...una nube apareció en el este y muy poco después escuché once ruidos distintos pareciendo proceder desde allí, de alguna manera semejante a la descarga continua de artillería pesada. Inmediatamente después de esto siguió un ruido no muy diferente al redoble de un gran tambor, al cual le sucedió a un estruendo parecido a la descarga continua de mosquetes en línea. Uno de estas (masas) se observó que descendió, cayó a la tierra y se hundió pie y medio... quedó inmediatamente enterrado... estaba caliente y tenía un olor sulfuroso”.
- Noroeste de Estados Unidos (9 de marzo, 1822): “Dos poderosas explosiones fueron escuchadas desde Portland, Maine, hasta Albany, New York. Las explosiones, que sensiblemente afectaron varias casas, fueron seguidas localmente por un fuerte olor a azufre”.
- Council Bluffs, Iowa, Estados Unidos (38 de noviembre, 1894): “Una gran caída de un meteorito impactó la tierra en la parte suroccidental de la ciudad, alrededor de las 11 p.m... El fenómeno más extraño conectado con esto es que alrededor de dos minutos después de la caída del meteorito hubo un temblor terrible, escasamente menos severo que un terremoto, el cual movió casi todo edificio en la ciudad y despertó a casi todos los habitantes que estaban durmiendo”.
- Sureste de New Jersey, Estados Unidos (23 de abril, 1922): “Una gran bola de fuego a la que le seguía una cola iridiscente como un cometa cruzó el cielo... desapareciendo hacia el este con una gran explosión que fue escuchada por un área de 30 mi lns. Todos insistieron en una iluminación semejante a un relámpago que acompañó su rápido paso a través del cielo y con una detonación terrorífica cuando chocó, haciendo temblar los edificios y retumbar las ventanas... El extraño vistazo dejó salir nubes de gas negro que tanto polucionó la atmósfera que personas en la calle tuvieron que colocarse pañuelos húmedos en sus narices por quince minutos... La explosión fue ensordecedora”.
- Malma, Ohio, Estados Unidos (10 de junio, 1931): “Un golpe terrible sacudió seis condados... y despertó a miles de personas que estaban durmiendo... Un testigo dijo que olió azufre inmediatamente después de la detonación”.
- Calgary, Alberta, Canadá (18 de marzo, 1934): “Un meteorito que se dejó ver aquí por un instante se cree que explotó en algún lugar en Alberta central con una fuerza tal que casas en Trochu, Delburne, Irricana y Bashaw fueron sacudidas y residentes aterrorizados de Bashaw salieron de sus hogares”.

El meteoroides del 9 de marzo de 1687

De acuerdo con todo lo que hemos visto hasta ahora, es posible elaborar el siguiente escenario que bien pudo acontecer en la noche del 9 de marzo de 1687 sobre la Sabana de Bogotá. El responsable del ruido fue un meteoroides de tipo OCT, de naturaleza asteroidal o cometaria con un tamaño no superior a los 5 m. Igualmente posible además es que

se hubiese tratado de un cuerpo asociado a un enjambre de meteoros de escasa intensidad llamado Delta Leonidas, cuyo intervalo de máxima actividad está entre el 15 de febrero y el 10 de marzo de cada año; se ha propuesto que el origen de dicho enjambre es el asteroide Pan (4450), el mismo en OCT. Sea cual fuere el caso, el meteoróide penetró en la atmósfera terrestre en el sector nocturno de la Tierra y su violento paso por esta ocasionó su fragmentación sobre lo que es hoy la zona central del departamento de Cundinamarca. Desafortunadamente, el fenómeno luminoso asociado al meteoróide no fue observado, al menos por los habitantes de Santafé. De haberlo sido, la naturaleza del ruido no gozaría del misterio con que pretende vérselo desde entonces. El ingreso del meteoróide ocasionó un primer estallido de gran violencia, y su fragmentación originó una serie de tremores de menor intensidad. Sin embargo, las explosiones no fueron tan fuertes después de todo, comparadas con otros eventos semejantes, pues no hubo movimiento de tierra que hiciera pensar a los lugareños sobre el advenimiento de un terremoto. Los restos volatilizados del objeto se esparcieron por la atmósfera a manera de polvo fino y es posible que una que otra roca hubiese sobrevivido al ingreso y llegara finalmente al suelo. De haber sucedido esto último, y como ocurre casi siempre, los meteoritos pasaron desapercibidos y terminaron haciendo parte del paisaje. Los vapores sulfurosos emanados, junto con la novedad del evento, ocasionó en la pequeña, aislada, iletrada y mujigata población un evento de pánico colectivo que despertó un fervor religioso como único recurso frente a lo desconocido.

Discusión

Frente al escenario que se acaba de exponer es factible construir varios reparos. El primero de ellos es que las crónicas no hacen referencia alguna al fenómeno luminoso que antecede al estallido sónico en esta clase de eventos. Pero esto en ningún caso invalida el escenario propuesto: o los pobladores de la región ya se encontraban casi en su totalidad en el interior de sus viviendas (la mayoría de ellos durmiendo) o bien la región se encontraba enteramente cubierta por un espeso manto de nubes. Es claro que desconocemos el grado de nubosidad en aquella noche. Es más: desconocemos el patrón de la nubosidad de Bogotá en ese siglo y el siguiente. Sin embargo, las dos anotaciones siguientes pretenden mostrar que, si el estado del tiempo en Santafé no ha cambiado drásticamente en el transcurso de tres siglos, en términos estadísticos la probabilidad de que la ciudad y sus alrededores se encontraba, para el evento que nos ocupa, cubierta por nubes, es de hecho bastante alta. Humboldt (1982), en su paso por el Virreinato de la Nueva Granada unos 115 años después del "ruido" anotó de la región: "...la vegetación se entume eternamente bajo un cielo nebuloso, ningún fruto madura por la falta de Sol, no se ve sino una llanura carente de árboles y de verdor, con un perpetuo napeo o otoñal". La otra anotación es

el actual registro de los parámetros meteorológicos que reporta el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para el aeropuerto El Dorado⁶. Ahí se consigna que de los meses de febrero a noviembre se presenta una nubosidad de 6 (muy nuboso); diciembre y enero registra 5 (nuboso). Además, de acuerdo con Scars (1978), en los registros de caída de meteoritos la explosión se presenta en un 85 % de los casos, en tanto que el fenómeno luminoso se presenta sólo en un 55%.

También podría objetarse que las crónicas no comentan la existencia de caída de roca o rocas o el descubrimiento en los días siguientes de rocas enterradas en el suelo. Pero es muy usual que ese tipo de entrada de meteoroides se expresen mayoritariamente en fenómenos luminosos y sonoros pero no en caída de meteoritos. Muchos meteoroides se volatilizan completamente en el aire o se fragmentan a tal punto que lo que cae al suelo no es más que una colección de pequeños pedruzcos. Recuérdese lo que se comentó sobre la lista de meteoritos recolectados frente al número de los que se estiman que llegan al suelo.

El reparo más serio que enfrenta nuestra explicación es el tiempo que refieren los cronistas que duró el fenómeno: un cuarto de hora (Ríbero) y hasta de media hora (Cassani). Las sonidas que se escucharon asociadas al paso de un meteoróide por la atmósfera pueden ser una serie de explosiones de gran intensidad, pero todas estas reunidas en conjunto no transcurren en un intervalo de tiempo tan largo como quince minutos. Antes de continuar es importante dejar en claro un asunto: el ruido en cuestión, sostenernos nosotros, no fue continuo. Esto se deduce del relato de Cassani que, suponiendo que no se trate de un embellecido lance literario, indicaría que el "ruido" fue de naturaleza discreta, conformado por una secuencia de al menos tres explosiones. Refiriéndose a la intensidad del ruido comenta: "... al primer golpe dudaron, todos al segundo temieron, al tercero se aterraron y con la perseverancia salieron de sí...".

Cabe entonces preguntarse: ¿por qué los cronistas refieren un tiempo tan desproporcionalmente largo para un suceso que a los sumo duraría no más de un minuto? Una posible respuesta tiene que ver con el grado de confiabilidad del testimonio de personas que fueron objeto de pánico colectivo. En la introducción comentamos que tanto Ríbero como Cassani no fueron testigos del suceso y que sus relatos son el resultado de testimonios de personas que contaron su experiencia casi medio siglo después de transcurrido el evento. Tanto como los cronistas, como sus oriundos e investigadores después de ellos, han asumido de buen grado que las crónicas constituyen un fiel reflejo de lo que aconteció en aquella noche de espanto. Sin embargo, a la luz de lo que se conoce ahora sobre la confiabilidad de relatos de testigos y la fenomenología asociada a la percepción es posible ubrigar dudas sobre algunos aspectos consignados en

⁶<http://bart.ideam.gov.co/fin/bogota/tabla.htm>

las crónicas referidas. Estudios psicológicos y sociológicos muestran que muchos testigos se aferran fuertemente a sus recuerdos aun cuando estos dicen mucho de ser confiables o sean falsos (Weingardt, et al., 1994). La percepción es altamente insegura y sujeta permanentemente a error. Y obviamente este efecto se acentúa bajo situaciones de tensión, ambigüedad e incertidumbre. Los investigadores contemporáneos son conscientes que la mente humana no funciona como una cámara de video. Además, los recuerdos no quedan congelados estáticamente en el cerebro para siempre: nuestros recuerdos de los eventos son reconstruidos conforme transcurre el tiempo (Loftus y Ketcham, 1991). Un ejemplo de lo que puede ocasionar una experiencia terrorífica en los testimonios de los testigos es el anecdótico episodio de la radiomisión hecha por la CBS de una adaptación de la novela *La guerra de las mundos* de H.G. Wells la noche del 30 de octubre de 1938 en la ciudad de Nueva York. Como es conocido, tal y como fue puesta al aire dicha radionovela, muchos radioescuchas creyeron que genuinamente se trataba de un ataque extraterrestre lo que desencadenó una situación de pánico colectivo. Lo interesante del asunto es que algunos testigos interrogados después aseguraron ver las llamas de la batalla; otros escucharon (no del radio) los ruidos de las ametralladoras y el extraño estrépito de las máquinas de los conquistadores marcianos (Bartholomew, 1998).

Por supuesto, toda esta digresión sobre la confiabilidad de los testigos y la poca confianza en la percepción no demuestra que los santafereños de finales del siglo XVII adolecieron de todo esto y por ello, con el correr de los años, terminaron exagerando el recuerdo, en particular, la duración del ruido. Nuestra intención ha sido sólo poner de relieve que testimonios de personas cuyo recuerdo de un evento traumático para ellos sucedido 4 ó 5 décadas antes puede estar seriamente deformado, y que no sería muy lícito de los actuales y futuros investigadores aceptar literalmente toda la información que quedó registrada en las crónicas. Somos conscientes además que el penetrante olor a azufre, uno de los pilares básicos de nuestra hipótesis, puede estar carente de esas percepciones ficticias.

Una explicación adicional a la prolongada duración del ruido es que haga referencia no al ruido en sí, sino al tiempo de duración en que los santafereños andaron corriendo como locos de un lugar a otro de la ciudad presas del pánico. Ribero describe el siguiente panorama: "los clamores lúgubres y pizosos de las campanas" de las iglesias (que ya eran muchas para el tamaño de la ciudad), los "inescantes y formidables aullidos de los perros que, conjurados todos cuantos había en la ciudad parece que lloraban", "el continuo y triste alarido que se escuchaba por las calles de niños y mujeres" nos parece a nosotros ya de por sí un ambiente sumamente ruidoso, que haría pensar a cualquiera que el ruido original estaba todavía al lado de sus oídos. Sólo el desplazamiento a las iglesias, que se obligaron a abrir, tranquilizaría al grueso de la población. Es admisible especular

que todo ese ambiente de trastorno difícilmente puede superar media hora y que eso fue lo que los testigos percibieron como duración del ruido.

Conclusión

La descripción del fenómeno sónico accaduto en la Sabana de Bogotá la noche del 9 de marzo de 1687 realizada por los cronistas de la época Juan Ribero y Joseph Cassan, bien puede acomodarse a la hipótesis de una explosión (y exposiciones subsecuentes) de un meteoróide en las capas bajas de la atmósfera. La intensidad de los estampidos junto con el penetrante olor a azufre son manifestaciones usuales de la caída de meteoritos o explosiones de meteoroides descritos numerosas veces en otros tiempos y en otras partes del planeta. El hecho de que no se hubiera reportado la bola de fuego en el cielo es explicado por la alta probabilidad de encontrarse la región bajo una gran nebulosidad. El dato de que la duración del ruido se extendió por 0.25 a 0.5 horas puede deberse a una notable exageración producto de la tergiversación de los recuerdos de los habitantes con el paso del tiempo o que a estos les pareció que el ruido se extendió por el período de tiempo en que los habitantes estuvieron inmensos en pánico colectivo.

Agradecimientos

Los autores desear expresar su agradecimiento al Dr. Jaime Benid Villegas por su apoyo y confianza en el desarrollo de este trabajo, al Archivo Histórico Javeriano de Bogotá y a la biblioteca del Instituto Smithsonian de Investigación Tropical de la Ciudad de Panamá, Panamá.

Bibliografía

- Alvarez, L. et al. 1980. Extra-terrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction. *Science*, **208** (4448): 1095-1105.
- Bartholomew, R. 1998. The Martian Panic Sixty Years Later. What Have We Learned?. *Skeptical Inquirer*, **22**: 40-43.
- Beech, M. 2003. The Millman Fireball Archive. *J. Roy. Ast. Soc. Can.* **97**: 71-77.
- Bottke, W. et al. 2000. Understanding the Distribution of Near-Earth Asteroids. *Science*, **288**: 2190-2194.
- Bowell, E. & Muinonen, K. 1994. Earth-Crossing Asteroids and Comets: Groundbased Search Strategies. En: *Hazards due to comets & asteroids*. The University of Arizona Press, Tucson, 149-197.
- Brown, P. et al. 1996. The Fall of St-Robert Meteorite. *Meteoritics & Planet. Sci.* **31**: 502-517.
- . 2000. The Fall, Recovery, Orbit, and Composition of the Jagish Lake Meteorite: A New Type of Carbonaceous Chondrite. *Science*, **290**: 330-325.
- . 2001. The Jagish Lake Meteorite Fall. Interpretation of Fireball Physical Characteristics. *Proceedings of the Meteoroids 2001 Conference*, ESA SP-405.

- ... 2002a. The Flux of Small Near Earth Objects Colliding with the Earth. *Nature*, **420**: 291-296.
- ... 2002b. Multi-Station Infrasonic Observations of Two Large Bolides: Signal Interpretation and Implications for Monitoring of Atmospheric Explosions. *Geophys. Res. Lett.*, **29**: 1-4.
- Carusi, A. et al. 1994. Near-Earth Objects: Present Search Programs. En: Hazards due to comets & asteroids. The University of Arizona Press, Tucson, 127-147.
- Cassini, J. 1741. Historia de la Provincia de la Compañía de Jesús de Nuevo Reino de Granada, Madrid.
- Cepilecha, Z. 1992. Influx of Interplanetary Bodies onto Earth. *Astron. Astrophys.*, **263**: 361-366.
- Chapman, C. & D. Morrison. 1994. Impacts on the Earth by Asteroids and Comets: Assessing the Hazard. *Nature*, **367**, 33-40.
- Chyba, C., et al. 1983. The 1908 Tunguska Explosion: Atmospheric Disruption of a Stony Asteroid. *Nature*, **301**, 40-44.
- Espinosa, A. 1984. El ruido de Santafé, 9 de marzo de 1687, y sus posibles causas. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, **19** (73): 293-297.
- Esser, B. & K. Turekian. 1988. Gooden. *Cosmochem. Acta*, **52**: 1383.
- Farinella, P. & Vokrouhlický, D. 1999. Scattering Axis Mobility of Asteroidal Fragments. *Science*, **283**: 1507-1510.
- García Márquez, G. 1975. El Osoño del Patraño. Editorial Oveja Negra, Bogotá.
- Halliday, I. 2001. The present day flux of meteorites to the Earth. En: Accretion of extraterrestrial matter through Earth's history. Kluwer Academic Press, New York, 305-318.
- Hildebrand, A. et al. 2000. The Fireball and Shower Field of the Tagish Lake Meteorite, Fell January 18, 2000, in Northern British Columbia. *Meteoritics & Planet. Sci.* **35**: A73.
- Humboldt, A. 1962. Alexander Von Humboldt en Colombia, extractos de sus diarios preparados y presentados por la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y la Academia de Ciencias de la República Democrática Alemana. Publicismo y ediciones, Bogotá.
- Ibañez, J. 1991. Crónicas de Bogotá, Tercer Mundo Editores. Tomo 1. Bogotá.
- Levison, H. et al. 2002. The Mass Disruption of Oort Cloud Comets. *Science*, **296**: 2212-2215.
- Lewis, J. 1997. Ruin of Iron and Ice. Addison-Wesley Pub. Co., Reading, Massachusetts.
- Lofins, E. & K. Ketchum. 1991. Witness for the Defense: The Accused, the Eyewitness and the Expert Who Put Memory on Trial. St. Martin's Press, New York.
- Love, S. & D. Brownlee. 1993. A Direct Measurement of the Terrestrial Mass Accretion Rate of Cosmic Dust. *Science*, **262**: 550-553.
- Martínez-Pérez, J. & J. Madern. 2004. The Iberian Fireball of 4 January 2001. *Interdisciplinary Science Reviews*, **29**: 135-140.
- McCord et al. 1995. Detection of a Meteoroid Entry into Earth's Atmosphere on February 1, 1994. *J. Geophys. Res.*, **100**: 3245-3249.
- Meridelli, A. 1999. An Overview on the Kuiper Belt and on the Origin of Jupiter-Family Comets. *Cel. Mech. & Dyn. Astron.* **72**: 129-156.
- Nemtchinov, I. et al. 1997. Assessment of Kinetic Energy of Meteoroids Detected by Satellite-Based Light Sensors. *Icarus*, **130**: 350-374.
- Ocampo, J. 2000. Mitos y leyendas bogotanas. Plaza & James Editores Colombia S.A., Bogotá.
- Pack, D. et al. 2004. Satellite Sensor Detection of a Major Meteor Event in the United States on 27 March 2003: The Park Forest, Illinois Bolide. En: Planetary Defense Conference: Protecting Earth from Asteroids, Orange County, California, Feb. 23-26, AIAA, 21-26.
- Rabinowitz, D. et al. 1994. The Population of Earth-Crossing Asteroids. 16n. Hazards due to comets & asteroids. The University of Arizona Press, Tucson, 385-393.
- Ramírez, J. E. 1975. Historia de los terremotos en Colombia. Seg. Edición. Congr. A. Coccuzzi, 250 p., Bogotá.
- Ribera, J. 1736. Historia de las misiones de los Llanos de Casare y los Ríos Orinoco y Meta. Imprenta de M. Silvestre y Cía., Bogotá, 1883. Reeditado por la Bibl. Presidencia Col., vol. XXIII, Bogotá, p. 558, 1956.
- Sears, D. W. 1978. The Nature and Origin of Meteorites. Adam Hilger, Bristol.
- Shoemaker, E. 1983. Asteroid and Comet Bombardment of the Earth. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, **11**: 461-492.
- Strom, R. et al. 2003. The Origin of Planetary Impactors in the Inner Solar System. *Science*, **309**: 1847-1850.
- Tagliaferri, E. et al. 1991. Detection of Meteoroid Impacts by Optical Sensors in Earth Orbit. En: Hazards due to comets & asteroids. The University of Arizona Press, Tucson, 199-220.
- ... 1995. Analysis of the Marshall Islands Fireball of February 1, 1994. *Earth, Moon and Planets*, **68**: 563-572.
- Vasilyev, N. 1998. The Tunguska Meteorite Problem Today. *Planet. Space Sci.* **46**: 129-150.
- Weingardt, K. et al. 1994. Reports of suggested memories: Do people truly believe them?. En: Adult Eyewitness Testimony: Current Trends and Developments, Cambridge University Press, Cambridge.

Recibido el 20 de enero de 2005

Aceptado para su publicación el 5 de julio de 2006