

## Qué fueron, qué son y qué serán los cometas. (I)

**Pedro J. Gutiérrez y Rafael Rodrigo.**

En ciertas ocasiones nuestro cielo se ilumina, durante algunos meses, con una gran mancha brillante y difusa que parece moverse entre las estrellas. Esa mancha difusa, casi esférica y que recibe el nombre de coma (cabellera en latín), suele tener un diámetro de varios miles de kilómetros. En la mayoría de las ocasiones, de la coma nacen dos largas colas que se extiende a lo largo de varios millones de kilómetros. Una de las colas es recta, de color ligeramente azulado. La otra es curvada y tiene un color blanquecino o amarillento. Decimos entonces que un cometa nos visita.

En el más amplio sentido de la palabra se podría decir que los cometas fueron, son y serán un fenómeno y desde tiempos inmemoriales, el hombre lo ha intentado interpretar. La interpretación que el hombre ha hecho del fenómeno cometa y nuestro conocimiento sobre su verdadera naturaleza han cambiado a lo largo de la historia, teniendo claramente un pasado y un presente y sin duda, tendrá un futuro.

En el pasado, los cometas eran considerados mensajeros de desgracias y el misterio de sus apariciones constituyó el principal motor para avanzar en su conocimiento. Nuestra concepción actual sobre la naturaleza de los cometas comienza a mediados del siglo XX y hoy en día sabemos que *los cometas son pequeños cuerpos celestes, con un tamaño del orden de los kilómetros constituidos por una mezcla de hielos, principalmente de agua, y polvo*. Hay millones de cometas de los cuales, al menos, una docena nos “visitan” todos los años aunque no son lo suficientemente brillantes como para ser vistos sin ayuda de telescopios o prismáticos. Actualmente los cometas son considerados como unos de los elementos menos evolucionados del Sistema Solar y como portadores de las claves para la comprensión de la formación del sistema planetario, son objeto de un intenso estudio. El futuro de nuestra concepción cometaria comienza ahora, cuando varias misiones espaciales han sido diseñadas para estudiar *in situ* diferentes cometas.

A la historia de nuestra concepción sobre la naturaleza de los cometas han contribuido numerosos pensadores y científicos de todos los tiempos, como Aristóteles, Séneca, Kepler, Newton, etc. y es, quizás, uno de los mejores ejemplos, del “beneficio” de la ciencia básica. La “necesidad” de saber y explicar el fenómeno cometa nos ha proporcionado la ley de la gravitación universal, conocer la naturaleza del viento solar y un sinfín de avances matemáticos. Su comprensión nos ha ido librando de miedos aunque posiblemente nos esté dando otros: ¿Son los cometas portadores de vida?

### ***De la antigüedad al Renacimiento.***

Casi con toda seguridad, los cometas, como consecuencia de su espectacularidad han sido observados desde tiempos inmemoriales. Sin embargo, ante la ausencia de documentos no se puede afirmar que las más antiguas civilizaciones confieran un determinado significado y una naturaleza a los cometas. Sí sabemos, con toda certeza, que astrónomos-sacerdotes de China y Babilonia (localizada en el actual Irak) habían observado cometas al menos 8 siglos A.C. Los astrónomos chinos catalogaban a los cometas como estrellas pensando que las colas de esas “estrellas” tenían la dirección solar, alejándose del Sol. Los caldeos, por su parte, consideraban a los cometas como “apariciones” de planetas atribuyéndoles, como los chinos, un origen celeste.

Como ocurre en todos los campos del conocimiento, existe una mayor información de las teorías “cometarias” desarrolladas por los Griegos. De hecho, nuestra moderna palabra *cometa* procede de la palabra griega *κομητηζ* (*kométes*) que significa *de cabellera larga*. Aunque existen indicios que hacen pensar que la primera interpretación griega sobre la naturaleza de los cometas corresponde a Anaximandro de Alejandría (610-545 A.C.), la primera descripción sobre el origen de estos “fenómenos” es atribuida a Xenofanes de Colofon (570-470 A.C.). Xenofanes argumentaba que los cometas eran estructuras nubosas de “fuego” producidas por exhalaciones invisibles procedentes de la Tierra. Demócrito (470 A.C.) y Anaxágoras (500-428 A.C.), por contra, atribuían a los cometas un origen celeste. Para estos filósofos, los cometas aparecían como consecuencia de la interacción de la luz de los planetas que se alineaban entre sí o con estrellas, es decir que entraban en conjunción. En este contexto resulta realmente sorprendente la acertada visión que Artemidoro de Parium (en torno al 450 A.C.) tenía de los cometas. Para este filósofo, los cometas eran en realidad planetas que únicamente se les veía cuando llegaban al “final de su carrera”. Sin embargo, Artemidoro es recordado, precisamente, por lo “imaginativo” de sus teorías para explicar el Universo, las cuales eran fácilmente rebatidas por sus contemporáneos. En consecuencia, su teoría cometaria fue, simplemente, olvidada. Otra visión diferente a las descritas era la de Hipócrates de Chios (430 A.C.), quien explicaba el carácter transitorio de los cometas proponiendo que eran, simplemente, ilusiones ópticas producidas por la luz solar en vapores de nuestra atmósfera. Encontramos, por tanto, que en la antigua Grecia existían, al menos, 4 interpretaciones diferentes para explicar la naturaleza de los cometas. Sin embargo, dado el significativo avance que tuvo el pensamiento Griego y, en general, el pensamiento occidental en prácticamente todos los campos del conocimiento gracias a Aristóteles, fue su teoría cometaria, que en realidad era una ligera adaptación de la de Xenófanes, la que se impuso. Para este gran filósofo, siguiendo la hipótesis de Eudoxo de Cnidos (408-355 A.C.), el Universo estaba formado por esferas concéntricas cuyo centro era la Tierra. Cuando la Tierra era calentada por el Sol, la superficie emanaba “vientos calientes” que se acumulaban en la parte alta de la atmósfera. Los cometas, al igual que las trazas meteoríticas –las lluvias de “estrellas”-, se originaban por fricción de esas emanaciones terrestres por el movimiento de la primera esfera, siendo, por tanto, fenómenos atmosféricos. Yendo aún más lejos, Aristóteles –como otros habían hecho antes- estableció la conexión entre una serie de desgracias ocurridas y la aparición de cometas. Se consolidó así una condena que, hasta hace muy poco tiempo, hemos estado padeciendo. Posiblemente, la interpretación aristotélica se vio favorecida por la aceptación y difusión del sistema geocéntrico de Ptolomeo (100-170 D.C.), que sometió al olvido el heliocentrismo de Aristarco de Samos (320-250 A.C.).

Con la expansión y prosperidad del imperio romano, la filosofía, las matemáticas y las ciencias naturales entraron en cierto declive. Esto condenó al más completo olvido la pequeña contribución científica de Séneca quien expuso en su *Cuestiones Naturales* una visión muy acertada sobre la naturaleza de los cometas. Séneca definía los cometas como astros, cuerpos celestes con caminos curvados en el cielo. Para este filósofo, los cometas, como astros, debían tener una sustancia, un cuerpo sólido y terroso que alimentase su brillo o “llama”. Es más, Séneca llegó a afirmar que este cuerpo sólido, el núcleo de los cometas, era esférico; siendo su brillo lo que se extendía en longitud. Séneca llegó incluso a sugerir que los cometas eran periódicos, es decir, que los cometas pasaban cerca del Sol de manera repetida. Lamentablemente, estas ideas se perdieron en la historia perdurando la descripción aristotélica y extendiéndose el carácter ominoso de los cometas.

Con el Renacimiento y la mejora de las observaciones del movimiento de los planetas, los dogmas aristotélicos empezaron a quebrantarse. Entre otros, el italiano Toscanelli (1397-1482), los astrónomos alemanes Johannes Müller (más conocido como Regiomontano) (1436-1476), Frascator (1483-1553) y Bienewitz (más conocido como Apian) (1495-1552) empezaron a observar el cielo con cierta atención científica, realizando medidas sistemáticas del movimiento de los cometas. Frascator sugirió que las colas de los cometas apuntaban en la dirección solar, alejándose del Sol. Este hecho, que los chinos conocían desde mucho tiempo atrás, fue confirmado por las observaciones de Apian.

La idea del origen atmosférico de los cometas empezó a declinar con la teoría heliocéntrica de Nicolas de Cusa (1400-1464) y Copérnico (1473-1543) y fue el astrónomo danés Tycho Brahe (1546-1601) quien, finalmente, eliminó las posibles dudas sobre el origen celeste de los cometas. Este astrónomo, a partir de observaciones de un cometa brillante que apareció en 1577 y que fueron realizadas desde dos observatorios diferentes que estaban separados unos 600 Km., pudo concluir que el cometa debía estar a una distancia superior a 4 veces la distancia a la Luna. A pesar de este descubrimiento, Brahe pensaba, en lo que es una extensión de las ideas aristotélicas, que los cometas eran “exhalaciones” de los planetas. En este contexto resulta sorprendente la postura de Galileo (1564-1642) quien, defensor del sistema heliocéntrico, negó la importancia de las observaciones de Brahe, afirmando que los cometas eran “ilusiones” o reflejos atmosféricos (la teoría de Hipócrates de Chios).

El sistema geocéntrico de Ptolomeo tuvo que abandonarse cuando el astrónomo alemán Johannes Kepler (1571-1630) formuló sus leyes del movimiento planetario, según las cuales los planetas describen caminos u órbitas alrededor del Sol con forma de elipse, casi un círculo. Kepler también defendió la naturaleza celeste de los cometas y en 1618, intentando explicar observaciones de cometas que fueron visibles ese año, concluyó que las colas se debían producir por alguna clase de “fuerza” debida a la radiación solar. De manera algo sorprendente, Kepler pensaba que los cometas no se movían como los planetas, sino que se desplazaban por el cielo en líneas rectas. Sin embargo, esta hipótesis de Kepler contrastaba con las observaciones del astrónomo italiano Borelli (1608-1679) y el polaco Hevelius (1611-1687) quienes sugirieron una órbita parabólica -es decir un camino con forma de U alrededor del Sol- para un cometa que apareció en 1665. El pastor y deán alemán Dörffel (1643-1688) e, independientemente, el que fue primer astrónomo real inglés, John Flamsteed (1646-1719) mostraron que la hipótesis de una órbita parabólica era consistente con las observaciones de un gran cometa que apareció en 1680 y que fue observado primero acercándose al Sol y luego alejándose de él. En esa fecha, Newton (1642-1727) había formulado ya, aunque no publicado, la Teoría de la Gravitación mediante la cual se demostraban las leyes de Kepler y se podía describir el movimiento de los planetas alrededor del Sol. Aún así, Newton, quizás motivado por razones personales más que científicas - pues Newton tenía ciertos problemas con Flamsteed quien era reticente a proporcionarle datos sobre sus observaciones y, por otro lado, Dörffel era amigo de Leibnitz, con quien Newton se disputó la autoría del cálculo diferencial- objetó contra la hipótesis de las órbitas parabólicas sugiriendo que debía tratarse de dos cometas diferentes, siendo así consistente con las trayectorias rectilíneas sugeridas por Kepler.

Así, vemos que en ese momento no existía duda en cuanto al origen celeste de los cometas y, con respecto a su naturaleza, la mayoría de los científicos pensaban que los cometas eran una nebulosa, exhalación difusa o concentrado de vapores que finalmente se dispersaban y, por tanto, tenían una existencia efímera.

### ***El descubrimiento de Halley.***

Fue muy poco tiempo después cuando el que sería segundo astrónomo real inglés, Edmond Halley (1656-1742), demostró que Kepler y Newton estaban equivocados con respecto al movimiento de los cometas. Halley, que conocía el trabajo de Newton, estaba seguro de que la teoría de la gravitación, todavía sin publicar, podía ser extendida y aplicada a los cometas. Así, haciendo uso de los desarrollos de Newton y de las observaciones realizadas, mostró que la órbita del cometa de 1680 era, ciertamente, una parábola. Con este resultado empezaba a “demostrarse” la verdadera naturaleza de los cometas. Habiendo obtenido este resultado, fue el propio Halley quien impulsó y subvencionó la publicación del trabajo de Newton, bajo del título de “Philosophiae Naturalis Principia Mathematica” en 1687. En esta primera edición, Newton, reconociendo implícitamente su error al incluir los cálculos de Halley, concluía que los cometas eran una “clase de planetas”. Según esta descripción, y teniendo en cuenta las observaciones, los cometas sólo eran visibles cuando estaban relativamente cerca del Sol. Este hecho llevó a Newton a establecer que el brillo observado debía ser la luz solar reflejada en las colas, las cuales se debían formar a partir de la atmósfera del cometa cuando se acercaba al Sol.

Halley, además de la órbita del cometa de 1680, calculó las órbitas de los cometas de los que se disponían suficientes observaciones; entre ellas las de un reciente cometa de 1682. Sus resultados fueron publicados en el famoso *Astronomiae Cometicarum Synopsis* en 1705. El principal resultado de su estudio fue que el cometa que se observó en 1682 parecía estar en la misma órbita que los cometas vistos por Toscanelli, Apian y Kepler en 1456, 1531 y 1607, respectivamente, y que, por tanto, podría tratarse del mismo cometa que realizaba aproximaciones periódicas a la Tierra y al Sol. Como las apariciones del cometa se repetían cada 75 ó 76 años, es decir el período orbital del cometa era de tres cuartos de siglo, Halley predijo que volvería a aparecer a finales de 1758. La predicción de Halley fue confirmada el día de Navidad de 1758 cuando un astrónomo aficionado alemán llamado Palitzsh observó el cometa. La confirmación de la predicción de Halley no sólo supuso un gran paso en la comprensión de la naturaleza de los cometas, sino también la confirmación de la validez de la teoría de la Gravitación; eso nos da una idea de la verdadera importancia del descubrimiento de Halley. Tras este hallazgo, la idea de que los cometas tenían una naturaleza “vaporosa” y efímera tenía que ser abandonada, los cometas eran miembros “permanentes” del Sistema Solar.

Después del éxito de Halley, la mecánica celeste, es decir, el cálculo del movimiento de los objetos celestes alrededor del Sol, empezó a desarrollarse muy rápidamente. Muchos de los avances matemáticos realizados por el astrónomo y matemático francés Laplace (1749-1827), el franco-italiano Lagrange (1736-1813) y los alemanes Olbers (1758-1840), Gauss (1777-1865) y Bessel (1784-1846) fueron motivados por el cálculo preciso de las órbitas de los cometas, cuyos movimientos estaban influenciados no sólo por el Sol sino también por los planetas. Se puede decir que durante el siglo XVIII y principios del XIX se alcanzó la comprensión básica de las órbitas cometarias.

En 1819, el astrónomo alemán Johann Encke (1791-1865) calculó las órbitas de unos cometas que habían sido observados desde 1786 a 1818. Encke encontró, como Halley, que en realidad se trataba de un solo cometa que volvía cerca del Sol tan solo cada 3.3 años (es decir, un período orbital mucho más pequeño que el del cometa de Halley), prediciéndose su regreso en 1822. Esta fue la segunda ocasión en la que se predijo, de

manera exitosa, el regreso de un cometa. Por otro lado y lo que fue un hecho realmente sorprendente, se descubrió que el período orbital de este cometa estaba decreciendo poco a poco. Encke sugirió que ese cambio era debido a que el cometa se movía en un medio que ofrecía cierta resistencia.

A finales del siglo XVIII y principios del XIX también se empezó a especular sobre el origen de los cometas y se empezaron a perfilar dos teorías. Por un lado, Laplace, entre otros, defendía que los cometas tenían un origen interestelar, habiendo sido capturados por el Sistema Solar en su movimiento. Por otra parte, Lagrange, entre otros, defendía prácticamente lo contrario. Según Lagrange, los cometas tenían su origen dentro del sistema planetario

El desarrollo de la instrumentación científica permitía ya estudiar a los cometas no sólo desde el punto de vista de su movimiento. El astrónomo francés Arago (1786-1853) mostró, en 1819, que la luz procedente de los cometas es, en su mayor parte, la luz solar reflejada, confirmando así la hipótesis de Newton. Esto permitió establecer que, al menos en parte, la coma y las colas estaban constituidas por pequeñas partículas sólidas.

El cometa Halley, a su vuelta en 1835, fue intensamente observado por muchos científicos, entre ellos Bessel y el astrónomo inglés John Herschel (1792-1871). Tanto Bessel como Herschel realizaron un estudio detallado de ciertas estructuras que se podían observar en la coma del Halley. Observaron la presencia de un cono de luz que se extendía hacia el Sol abriéndose y volviéndose en el sentido contrario, como repelido por una fuerza. Además se observaban la presencia de ciertas estructuras finas brillantes, como chorros que salían de la condensación central. Para explicar estas observaciones, Bessel desarrolló una teoría para las colas cometarias suponiendo que diferentes partículas salían de la coma del cometa debido al balance entre la atracción del Sol y fuerzas repulsivas con origen también en el Sol. Esta imagen del material de la coma y de las colas exigía, necesariamente, la presencia de una fuente o núcleo a partir del cual se obtuviese toda la materia observable. Así, y de manera consistente con su descripción, Bessel propuso que los cambios que se habían observado en el período orbital del cometa de Encke podrían ser debidos a la expulsión de material desde un cuerpo sólido, en un efecto similar al que permite a los cohetes desplazarse o a un globo escaparse de las manos cuando se desinfla.

En la segunda mitad del siglo XIX un cometa que había sido descubierto por el oficial del ejército austriaco y astrónomo Wilhelm von Biela (1792-1856) en 1826, levantó una fuerte expectación. Cuando el cometa regresó en 1846, Herschel descubrió que se había separado en dos que viajaban juntos. Estos dos cometas de Biela volvieron a verse en 1852 separados por una distancia aproximada de 2 millones de km. La vuelta de los cometas estaba predicha para 1866 y la comunidad cometaria estaba expectante para ver la separación entre los dos cometas; sin embargo, no volvieron a verse. Algunos astrónomos predijeron que en 1872 se podrían ver los restos de los cometas de Biela. Lo que se observó en 1872 fue una espectacular lluvia de “estrellas” o meteoros. Esto parecía confirmar la hipótesis del astrónomo italiano Giovanni Schiaparelli (1835-1910) quien en 1866 estableció la conexión entre las lluvias de estrellas o meteoros y las órbitas de varios cometas. Schiaparelli sugirió que la lluvia de las Perseidas podía estar relacionada con el cometa 1862 III (ahora conocido como Swift-Tuttle) y la lluvia de las Leónidas con la órbita del 1866 I (Tempel-Tuttle).

Por aquella época ya se había empezado a utilizar la técnica de la espectroscopia para estudiar la composición de los cometas. Esta técnica consiste en separar la luz en sus distintas componentes según la velocidad a la que se propagan en un medio material, es decir, formar arcos iris de manera artificial. De manera muy simple, se podría decir que

las moléculas y compuestos son como emisoras de radio y el espectrógrafo, nuestra radio receptora. Si “sintonizamos” el espectrógrafo de manera adecuada, y podemos “escuchar” la emisión de una determinada molécula, entonces se puede decir que esa molécula está presente en la fuente de luz que se está observando. Las primeras medidas espectroscópicas fueron realizadas por el astrónomo italiano Donati (1828-1873), observando el cometa 1864 II (Tempel), pero fue William Huggins (1824-1910), astrónomo inglés que empezando como aficionado construyó su propio observatorio, quien en 1868 identificó el primer compuesto presente en las comas de los cometas: vapores de carbono. En 1881, con la utilización por primera vez de las placas fotográficas Huggins también pudo identificar un segundo compuesto, el radical ciano (CN). Ese mismo año se detectó también la presencia de sodio en la coma de cometas que pasaron muy cerca del Sol y un año después se detectó la presencia de Hierro.

Entre los años 20 y 30, con la utilización de prismas de vidrio para tomar espectros, se pudo identificar la presencia de otros compuestos: el CH en la coma y de los iones  $N_2^+$  y  $CO^+$  y en las colas. A este último compuesto se debía el color azulado de las colas rectas. Otro paso decisivo en la comprensión de la naturaleza de los cometas fue dado con la utilización de prismas de cuarzo. En 1941, utilizando este tipo de prismas, Swings y sus colaboradores detectaron, por primera vez, la presencia de OH en la coma de un cometa, estimando que su abundancia debía ser incluso mayor que la del CN. La presencia de los iones en las colas y el hecho de que los compuestos observados en la coma son químicamente muy reactivos, llevó a pensar que los compuestos que habían sido observados eran, en realidad, moléculas hijas o productos de otras moléculas padre, químicamente más estables. Así se pensó que las principales moléculas padre podrían ser el agua, que por acción de la luz (fotodisociación) originaría el OH, el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y el metano (CH<sub>4</sub>), que podría originar el CH.

A comienzos del siglo XX también se plantearon teorías para explicar la formación de las colas. Considerando las observaciones realizadas, se planteó que las colas se podrían formar debido a la acción de tres posibles fuerzas sobre la materia presente en la coma: la fuerza de atracción del Sol, una presión ejercida por la radiación solar y que empuja las partículas más ligeras del sistema solar, propuesta por Arrhenius (1859-1927) y un bombardeo de partículas procedentes del Sol y que constituyen el llamado viento solar, sugerida por Lodge (1851-1940).

Habiéndose establecido la conexión entre los cometas y las lluvias de “estrellas”, y ante la necesaria existencia de una fuente para todo el material observable, se empezó a postular el primer modelo que describía la estructura o naturaleza del núcleo de los cometas. Ese primer modelo es conocido como *banco de arena o grava* y describía el núcleo como un enjambre de partículas meteoroides separadas con tamaños que iban desde la millonésima de metro hasta los 10 m. Se postulaba también que el material gaseoso observado estaba embebido en esas partículas de polvo meteoroides.

La cuestión de las órbitas también fue objeto de un intenso estudio en la primera mitad del siglo XX. Hasta ese momento, la inmensa mayoría de los cometas descubiertos tenían órbitas parabólicas o altamente elípticas y sólo un pequeño grupo tenía períodos relativamente cortos bien definidos. El problema planteado era descubrir de dónde venían los cometas y si esos dos grupos observados tenían en realidad alguna relación. Strömberg, en 1914, realizó cálculos precisos de las órbitas de los cometas de largo período incluyendo las perturbaciones de los planetas. Sus resultados mostraban que los cometas debían pertenecer al Sistema Solar. Pero aún se desconocía su origen.