

¿Qué fueron, qué son y qué serán los cometas? (III)

Pedro J. Gutiérrez y Rafael Rodrigo.

Hoy en día hemos alcanzado la comprensión básica sobre la naturaleza de los cometas y sabemos que este fenómeno llamativo se explica, básicamente, por la interacción de la radiación solar con un pequeño cuerpo sólido y con el material procedente de él. De manera algo más precisa, en el fenómeno cometa se pueden distinguir hasta cuatro constituyentes:

El núcleo cometario es un cuerpo sólido de forma irregular, baja densidad, con un tamaño del orden de los kilómetros y con una cohesión interna relativamente baja. Está constituido por hielos y pequeñas partículas de polvo. El núcleo rota sobre sí mismo y se mueve alrededor del Sol en órbitas elípticas, en ocasiones parabólicas. Estas órbitas cambian debido a la atracción gravitatoria de los planetas y a la reacción que produce el gas al ser liberado.

La coma es una envoltura de gas y polvo alrededor del núcleo que se desarrolla cuando éste es calentado al acercarse al Sol y desaparece cuando se aleja. Está constituida por moléculas sublimadas y sus productos de fotodisociación y fotoionización así como por partículas de polvo. En ocasiones presenta ciertas estructuras más brillantes, como chorros, capas, envolturas parabólicas, etc. que se cree están producidas porque la emisión procede de zonas discretas del núcleo, que normalmente se denominan “zonas activas”.

La cola de plasma está constituida por iones que, procediendo de la coma, son acelerados en la dirección anti-solar por la acción del campo magnético interplanetario. Tiene un color azulado y se extiende, aproximadamente recta, en la dirección antisolar. Puede alcanzar una extensión de millones de kilómetros.

La cola de polvo está constituida por granos de polvo que procediendo de la coma, son dispersados por la acción conjunta de la atracción solar y la presión de radiación. Su brillo es, esencialmente, la luz del Sol reflejada en las partículas de polvo. Constituyen una fuente importante del material interplanetario.

El núcleo del cometa Borrelly.

El 24 de Octubre de 1998 la NASA lanzó la sonda *Deep Space 1*. El principal objetivo de esta misión era el probar nueva tecnología de propulsión y nuevos dispositivos de comunicaciones. Si las pruebas técnicas resultaban exitosas, la NASA tenía planeada extender la misión para estudiar el cometa Wilson-Harrington o el cometa Borrelly. Dado que la misión estaba calificada como de alto riesgo, debido a que utilizaba tecnología no probada, su carga útil, desde un punto de vista científico, estaba constituida por sólo dos instrumentos principales: uno para medir y determinar las partículas cargadas en el espacio interplanetario y una cámara-espectrómetro. Las pruebas técnicas tuvieron un éxito rotundo y en consecuencia la NASA decidió extender la misión dirigiendo la sonda al encuentro del cometa Borrelly. El 22 de Septiembre del 2001, la sonda pasó a tan solo 2200 km del núcleo y tomó un total de 52 imágenes. Las imágenes mostraban que el núcleo de Borrelly era un cuerpo similar al del Halley pero más pequeño, de unos 8 km de largo por 3.5 de ancho. A diferencia de la del Halley, la superficie de Borrelly es suave y no se advierte la presencia de cráteres, al menos mayores de 200 metros de diámetro. Las imágenes también mostraban la presencia de

fuertes emisiones de polvo cerca de uno de los polos del cometa. Una de las medidas esperadas era la de su temperatura superficial y el análisis espectral de su superficie. Las medidas indicaban que toda su superficie estaba caliente, con temperaturas entre los 25°C y los 75°C y no se detectó la presencia de hielo de agua en su superficie. Esto parece indicar que, en realidad, el hielo de agua se encuentra debajo de un manto de polvo que formaría la superficie, como sugiere el modelo de Whipple. Según esto, el hielo contenido en el interior sublimaría y el gas liberado pasaría a través de poros y canales abiertos en la superficie. Sin embargo, si bien esta podría ser la explicación para el caso del cometa Borrelly, estudios teóricos muestran que esa explicación no es válida para otros cometas, como el Wirtanen que, de acuerdo a los modelos actuales, necesariamente ha de tener hielo en su superficie para explicar la cantidad de gas observada. La actividad de los cometas, su localización y procedencia es hoy una cuestión abierta.

¿Dónde, cómo y cuándo se formaron los cometas?

Quizás estas sean las preguntas más importantes y cuyas respuestas nos puede hacer entender el origen y formación del Sistema Solar.

¿dónde?

Entre los cometas se pueden distinguir dos grupos. Uno está constituido por los cometas llamados *nuevos o no-periódicos* con órbitas parabólicas y el otro por los cometas periódicos que se mueven en órbitas elípticas. En este último grupo son de especial interés, por su accesibilidad, los cometas con período menor que 200 años. Entre estos últimos cometas se distinguen, también, dos grupos. Los cometas de la familia de Júpiter, cuyos períodos orbitales son inferiores a 15 años y los cometas tipo Halley cuyos períodos están entre 15 y 200 años. La existencia de esos dos tipos de cometas, sugieren que pueden proceder de regiones diferentes del Sistema Solar.

Como ya se ha mencionado, Oort postuló la existencia de una nube de núcleos cometarios rodeando al Sistema Solar que podría ser la fuente de los cometas. Hoy en día no existe duda en cuanto a que la nube de Oort es la fuente de los cometas nuevos que aparecen por primera vez por el Sistema Solar interno, como el Hale-Bopp, pero se piensa que no puede ser el origen de los cometas periódicos, al menos no de todos. Algunos científicos han afirmado que los cometas periódicos son, en realidad, cometas nuevos que han sido capturados por Júpiter. Sin embargo, esta hipótesis no parece plausible pues si bien es posible que Júpiter capture algún cometa, no parece probable que haya capturado los, aproximadamente, 150 cometas periódicos que se conocen. Para explicar ese gran número, algunos científicos han propuesto que sólo los cometas tipo Halley proceden de la nube de Oort, mientras que, los cometas de muy corto periodo, los de la Familia de Júpiter, proceden directamente de la región comprendida entre Neptuno y Urano. Ya en 1949, Edgeworth, y Kuiper en 1951, plantearon la posibilidad de que existiese un cinturón de cometas en la región más allá de Neptuno. Según Edgeworth, en lo que es una descripción completa de la formación del Sistema Solar, todos los cuerpos que lo integran se formarían a partir de pequeñas condensaciones del material original. Estas condensaciones, mediante colisiones, se agruparían en núcleos que irían progresivamente creciendo. En la región más allá de Neptuno, donde la densidad de material original era muy baja, el proceso evolutivo en la formación de cuerpos sería muy lento. Esto produciría que, en esa región, los núcleos formados fuesen relativamente pequeños pero muy numerosos. Así, según Edgeworth esa región externa sería un gran almacén de cometas potenciales. Kuiper también postuló esa posibilidad argumentando Neptuno podría dispersar muchos de esos cuerpos

que pasarían a formar la nube de Oort. Los objetos que quedaron en el cinturón, serían la fuente de los cometas de corto período. Esta idea se ve reforzada con el reciente descubrimiento de un gran número de objetos en la región más allá de Neptuno, los llamados objetos Trans-Neptunianos que, se supone, formarían el cinturón de Edgeworth-Kuiper. El primero de estos objetos fue detectado por astrónomos de la Universidad de Hawaii, en 1992 y actualmente se conocen más de XXX. Hoy en día, la observación de estos objetos, determinar sus períodos de rotación y características superficiales es uno de los temas más activos dentro de la investigación del Sistema Solar.

¿Cuándo?

En los últimos años se ha comprobado que algunas moléculas detectadas en los cometas están presentes en una cantidad prácticamente igual a las cantidades de esas moléculas encontradas en las nubes moleculares interestelares. Esto sugiere que los cometas contienen el material, prácticamente original, a partir del cual se formó el Sistema Solar. Según una de las teorías actuales, los cometas se formaron al mismo tiempo que el Sol y los planetas. Después de la fragmentación y colapso de una nube molecular interestelar, los planetas se formaron en un disco que rodeaba al proto-Sol. Los cuerpos pequeños que no formaron parte de los planetas más externos sobrevivieron como núcleos de cometas. Ciertamente algunas de las moléculas y parte del material interestelar que dieron lugar a los cometas podrían haber sufrido cierto procesamiento durante el colapso de la nube original pero, según estudios recientes, una gran parte de ese material original podría haber permanecido intacto. Según otra teoría, los cometas se podrían haber formado directamente en alguna región de la nebulosa pre-solar o en algún momento de tal forma que el material que lo constituye no hubiese sido procesado por el colapso que originó los planetas y el Sol.

¿Cómo?

Actualmente, existen algunos indicios que hacen pensar que los cometas se debieron formar a una temperatura muy baja, muy inferior a los -200°C . La visita del cometa IRAS-Araki-Alcock, en 1983 nos permitió detectar la presencia de azufre formando una molécula de dos átomos. Esa misma molécula pudo detectarse también en los cometas Halley en 1985 y en el Hyakutake en 1992, pero su origen aún no está claro y no se ha detectado en ningún otro cometa. En cualquier caso ese componente es muy volátil, es decir, se evapora a temperatura muy baja y los cálculos realizados indican que para que el núcleo cometario preserve este compuesto, su temperatura debe ser inferior a los -240°C . Estas bajas temperaturas de formación exigirían que los cometas se hubiesen formado por acumulación de partículas que chocan unas con otras muy suavemente, a velocidades muy bajas. Según los modelos, los cuerpos resultantes de este proceso serían muy porosos y con una densidad muy pequeña. Con la mejora de las observaciones, y la impagable aportación de los astrónomos aficionados, la astrometría cometaria nos ha permitido estimar de manera relativamente precisa los efectos que las fuerzas de reacción, originadas por el gas que es liberado, producen en el movimiento de los cometas. Mediante la utilización de modelos teóricos para simular el efecto de esas fuerzas, se ha podido estimar, aproximadamente, la masa y densidad de algunos cometas. Los resultados indican que la densidad de los núcleos es muy baja, alrededor de la mitad de la del hielo de agua. Un reciente estudio realizado por investigadores del Instituto de Astrofísica de Andalucía en colaboración con investigadores de la Universidad de Uppsala (Suecia), ha mostrado que la densidad del cometa Borrelly podría ser, incluso, una tercera parte de la del hielo de agua.

La formación de cuerpos del tamaño de los kilómetros a partir de la acumulación de partículas con un tamaño inferior a la millonésima de metro constituye hoy en día una línea de trabajo importante. Actualmente existen distintas descripciones sobre cómo crecieron los núcleos cometarios. Uno de los modelos propuestos se basa en que los núcleos se formaron por acumulación directa de partículas de tamaño inferior a la millonésima parte de un metro, hasta formar un cuerpo del tamaño de los kilómetros. Este modelo, simplificando, se podría identificar con la bola sucia de nieve propuesta por Whipple en 1950. En el otro extremo, el núcleo se formaría, de manera jerárquica, a partir de estructuras con distintos tamaños. Es decir, el núcleo estaría formado por granos individuales, agregados de granos y agregados de agregados. Esto es lo que se denomina modelo fractal. Ligeras modificaciones de este último modelo, incluyendo algunas características del modelo de la bola sucia de nieve, serían los modelos conocidos como “pila de escombros” e “icy-glue”. Según la “pila de escombros”, el núcleo estaría constituido por grandes bloques, con tamaños entre los metros y los kilómetros débilmente ligados unos con otros por hielos. Según el modelo “Icy glue”, el núcleo estaría compuesto por grandes bloques de material meteorítico, con tamaños entre los centímetros y varios cientos de metros, unidos por una mezcla de hielo y granos de polvo y rodeados por una matriz refractaria que deja escapar el gas sólo por determinadas regiones.

Aunque los modelos puedan parecer, en un principio, similares, las diferencias, en lo que respecta a su formación, densidad y tensión interna son enormes. Un núcleo tipo “pila de escombros” sería relativamente frágil, fácilmente fracturable y podría tener grandes vacíos en su interior. El posible fin de una pila de escombros es la desintegración. Por el contrario, un núcleo tipo “bola sucia de nieve” sería bastante más compacto, con una tensión interna relativamente grande que aseguraría una larga vida al cometa. En el año 1996, el cometa Shoemaker-Levy 9 se fracturó debido a la atracción gravitatoria de Júpiter y sus fragmentos colisionaron con el planeta. La disrupción del núcleo se produjo de manera suave lo que sugiere que estaba constituido por grandes bloques débilmente ligados. Recientemente, el cometa 1999 S4 Linear se fracturó también de forma suave. Por otro lado un reciente estudio preliminar muestra que cada año al menos un cometa se fractura parcialmente, es decir pierde un trozo del núcleo aunque no llega a desintegrarse totalmente. Estas observaciones favorecen el modelo de la *pila de escombros* sobre todos los demás, pero aún es pronto para afirmarlo rotundamente.

La trascendencia de los cometas.

Con el estudio de los cometas podemos aprender sobre los procesos que afectan a las nubes moleculares interestelares y comprender y describir algunos de los procesos físicos-químicos involucrados en la formación de sistemas planetarios. Hasta la fecha, la observación de los cometas nos ha permitido avanzar, además de en la comprensión de su naturaleza, en varios campos de la física y las matemáticas. Pero la relación entre el hombre y los cometas trasciende para encontrar o al menos buscar, incluso, una respuesta al propio origen de la vida en la Tierra. Los estudios sobre la formación de los planetas terrestres sugieren que sus atmósferas primitivas estaban constituidas por nitrógeno, agua y dióxido de carbono. A partir de estos compuestos difícilmente podrían haberse formado compuestos orgánicos complejos. Por otro lado parece ser que la complejidad de los compuestos orgánicos crece con la distancia al Sol y, como sabemos, los cometas presentan especies orgánicas complejas, en cierto sentido posibles precursoras de la vida. De manera aún más significativa, en los cometas se ha podido detectar la presencia de cianuro de hidrógeno (HCN) y formaldehído (H₂CO) que son

dos volátiles críticos para el desarrollo de la química prebiótica. Fue el español Oró, en 1961, el primero en sugerir que los cometas, que colisionaban frecuentemente con los planetas internos durante las primeras etapas del Sistema Solar, podían haber transportado material orgánico biogénico desde el Sistema Solar externo a la Tierra.

Actualmente no se ha podido confirmar la presencia de aminoácidos -los elementos constituyentes de las proteínas - en los cometas, ni siquiera aquellos aminoácidos más simples como la glicina. Sin embargo, hay motivos para buscarlos. Recientemente se ha realizado un experimento en la universidad de Leiden (Holanda) en el que se ha hecho incidir radiación ultravioleta sobre mezclas de hielos (conteniendo agua, monóxido de carbono, metanol, etc, todos compuestos encontrados en los núcleos cometarios), intentando reproducir, así, posibles procesos interestelares. El experimento mostró que se habían formado, al menos, 16 aminoácidos diferentes.

La aportación española.

La importancia del estudio de los cometas y el hecho de que todavía quedan por responder muchas preguntas sobre su naturaleza hace que estos cuerpos del Sistema Solar sean objetivos prioritarios de distintas agencias espaciales. La Agencia Espacial Europea (ESA) lanzó en el 2004 la sonda *Rosetta* con el objetivo de explorar el cometa Churiúmov-Gerasimenko, un cometa de la familia de Júpiter con un tamaño de, aproximadamente, 2 km de radio. Rosetta transporta 20 instrumentos, 11 en una sonda principal y 9 en un módulo de descenso que se hará “aterrizar” sobre el núcleo. Los instrumentos cubren todos los campos, desde imagen y espectroscopia hasta magnetometría, análisis de polvo, radio sondeo, propiedades eléctricas de la superficie, etc.

Esta es la primera misión a un cometa en la España participa. El Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA, Granada) ha participado activamente en la tareas de apoyo científico a la misión y en el desarrollo de dos de los instrumentos de la sonda: OSIRIS y GIADA. El instrumento OSIRIS es el sistema de imagen destinado a cumplir los principales objetivos científicos de la misión. El instrumento consta de dos cámaras CCD que nos permitirán ver la superficie del núcleo con una resolución de 2 y 10 cm cuando la sonda esté a 1 km de distancia. El IAA, junto con el INTA y el Dpto. de Vehículos Espaciales de la Universidad Politécnica de Madrid, ha participado en este instrumento asumiendo una serie de tareas como el diseño térmico, ruedas de filtros, mecanismos de control, y fuentes de alimentación. Los principales objetivos científicos de OSIRIS son determinar la topografía, morfología, estructura y composición de la superficie del cometa y localizar la región de la que procede el gas. OSIRIS permitirá no sólo observar el cometa Churiúmov-Gerasimenko con una resolución 1000 veces superior a como lo hizo la Cámara Multicolor de Giotto con el cometa Halley, sino que permitirá su estudio en una amplia base temporal, durante varios meses, y con una mayor resolución espectral.

El instrumento GIADA está destinado al estudio de las propiedades del polvo cometario y está compuesto por 3 tipos de sensores que están diseñados para medir, básicamente, la masa y la velocidad de las partículas de polvo. El instrumento se ha construido en su totalidad entre el IAA y el Observatorio de Nápoles, siendo el IAA el responsable de la electrónica completa y del *software* de vuelo. Ambas magnitudes, masa y velocidad de las partículas de polvo, son fundamentales para interpretar correctamente las observaciones desde tierra y conocer exactamente qué cantidad de polvo hay en los núcleos cometarios, lo que hoy en día es desconocido.