


El despertar de *ROSETTA*

Alberto Flandes



Este mes la nave espacial Rosetta saldrá de un estado de hibernación para dirigirse a su objetivo final: el cometa Churyumov-Gerasimenko. Si todo sale según lo planeado, la nave depositará un módulo que será el primer objeto en posarse en la superficie de un cometa.



El cometa Halley, 14 de marzo de 1986 (Halley Multicolor Camera Team, Giotto Project, ESA).

En noviembre de 2007 un grupo de astrónomos de la Universidad de Arizona dedicado a identificar asteroides y cometas potencialmente peligrosos para la Tierra detectó lo que parecía ser un asteroide de unos 20 metros de diámetro que, según sus cálculos, tenía probabilidades de impactar nuestro planeta. Lo llamaron 2007 VN84. La noticia se tomó con mucha reserva, y por todo el mundo los científicos se dedicaron a verificar la trayectoria del objeto. Pocos días después, un físico y astrónomo aficionado ruso confirmó que, en efecto, un objeto de unos 20 metros se acercaba a la Tierra, pero no era un asteroide, sino la nave espacial europea *Rosetta*, que hacía su segundo acercamiento programado a nuestro planeta para ganar velocidad. El prestigio de los profesionales quedó algo maltratado, pero este error puso nuevamente en el mapa a *Rosetta*, que llevaba más de tres años en el espacio.

La nave *Rosetta* fue lanzada en 2004 con un cohete Ariane desde Kourou, Guayana Francesa. La misión es esencialmente europea, pero tiene una contribución menor, aunque importante, de la NASA. Su nombre proviene de la famosa Piedra de Rosetta, que fue fundamental para descifrar la antigua escritura jeroglífica egipcia en el siglo XIX. De la *Rosetta* moderna se espera que ayude a descifrar algunas de las incógnitas que guardan los cometas. Es una misión ambiciosa, pues tratará de lograr algo que nunca se ha intentado: colocar un módulo en la superficie de un cometa.

El objetivo de *Rosetta* es el cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko (que aquí llamaremos simplemente 67P), descubierto en 1969 por dos investigadores de la Universidad de Kiev, Ucrania. El 67P

se mueve alrededor del Sol, entre la Tierra y Júpiter, con un periodo relativamente corto de seis años y medio, y pertenece a los llamados cometas jovianos. Tiene un diámetro de unos cuatro kilómetros y una forma parecida a la de un carambolo, o fruta estrella, como muestran las observaciones del Telescopio Espacial Hubble.

El objetivo original de la nave *Rosetta* era 46P/Wirtanen, otro cometa de la familia joviana con características orbitales similares. El cambio se debió a una falla de última hora en el cohete Ariane, que obligó a retrasar el lanzamiento dos años.

Actualmente, la nave va en su quinta órbita alrededor del Sol. En sus primeras cuatro pasó tres veces cerca de la Tierra y una cerca de Marte. Con cada acercamiento, la gravedad de estos planetas le impartió impulso para ir haciendo más elípticas las órbitas posteriores y así coincidir con la del cometa 67P. Cuando *Rosetta* lo alcance, se pondrá en órbita a su alrededor y más tarde liberará el módulo *Philae* para que éste se pose en la superficie.

Cazadores de cometas

El cometa más conocido es el legendario Halley. Su visita más reciente ocurrió en 1986 y se espera verlo nuevamente en 2062. Aunque el Halley había sido visto muchas veces desde el siglo III a. C., fue hasta 1705 cuando el astrónomo inglés Edmund Halley descubrió que éste y otros cometas no eran visitantes tan extraordinarios, sino objetos que giran alrededor del Sol en órbitas muy alargadas. Así pues, la diferencia entre su menor distancia al Sol (perihelio) y su mayor distancia (afelio) es muy grande, en contraste con las órbitas de la mayoría de los planetas, que son casi circulares y mantienen a cada

planeta más o menos a la misma distancia del Sol. El cometa Halley tiene un perihelio igual a media unidad astronómica (la unidad astronómica o UA es igual a la distancia promedio entre la Tierra y el Sol, unos 150 millones de kilómetros), pero su afelio es de casi 35 UA.

Ha habido ya varias misiones de exploración de cometas. En 1986 la nave *Giotto* pasó a unos 600 kilómetros del cometa Halley. En 2001 la *Deep Space 1* pasó cerca del cometa Borrelly (o 19P). La nave *Deep Impact* visitó el cometa 9P/Tempel 1 en 2005 y lanzó un proyectil de media tonelada contra su superficie para estudiarla. El proyectil chocó con el núcleo del cometa a unos 10 kilómetros por segundo y expulsó miles de toneladas de polvo de la superficie, dejando un cráter de 150 metros de diámetro que pudo fotografiarse seis años después con las cámaras de la sonda *Stardust*, cuando ésta se acercó al mismo cometa.

En 2004 la propia *Stardust* se sumergió en la cola de polvo del cometa 81P/Wild 2 y no sólo capturó algunas partículas de polvo de su cola, sino que pudo traerlas a la Tierra para su análisis posterior. Para tal fin se desarrollaron trampas de polvo a base de una espuma sintética muy ligera llamada *aerogel* (ver *¿Cómo ves?* Núm. 145).

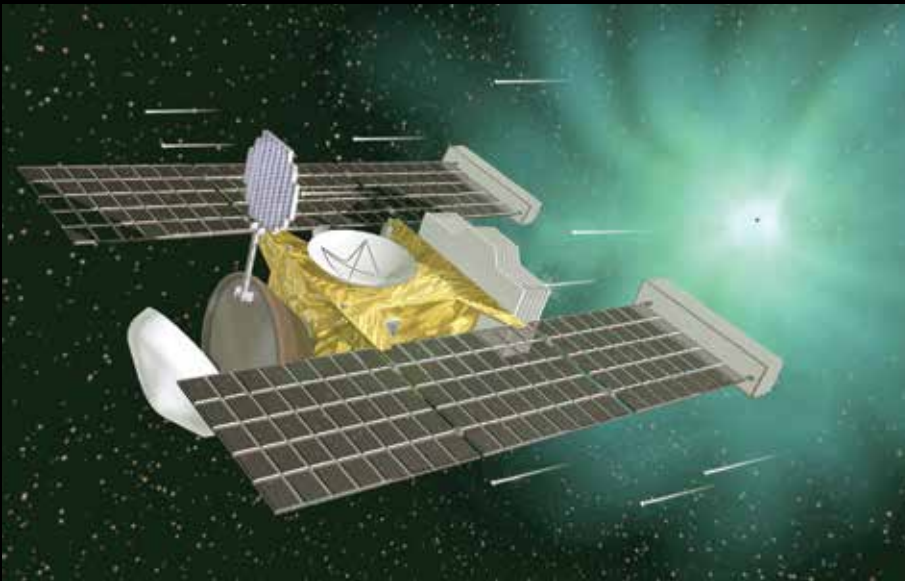
En su siguiente etapa de investigación, la nave *Deep Impact* fue rebautizada como *Epoxi* y se redirigió al cometa 103P/Hartley, al que pudo acercarse a menos de 700 km a finales de 2010.

Considerando que los diseñadores y controladores de las misiones espaciales recientes habían demostrado una habilidad extraordinaria para dirigir las naves



Deep Space 1 y el cometa Borrelly.

Ilustración: NASA/JPL



La nave Stardust.

en trayectorias muy precisas, el paso más natural era plantar una sonda o módulo en la superficie de un cometa.

Para apreciar la magnitud de lo que se busca conseguir con la misión *Rosetta* conviene dar un vistazo a lo que hoy en día se sabe sobre cometas: de dónde provienen, cuál es su composición y qué les ocurre cuando se acercan al Sol.

Millones y millones de cometas

El estudio de las órbitas y periodos de los cometas y los modelos teóricos de la evolución del Sistema Solar indican que la mayoría de los cometas se agrupan en dos regiones: una es la Nube de Oort y la otra el Cinturón de Kuiper.

La Nube de Oort es un enorme enjambre esférico de cometas con un radio de un año luz (63 000 UA, o casi 10 billones de kilómetros) centrado en el Sol. Muchos la consideran la frontera del Sistema Solar (aunque para otros el Sistema Solar termina donde cesa la influencia magnética del Sol, lo cual sucede a unas 100 UA o 15 000 millones de kilómetros).

El Cinturón de Kuiper es una estructura anular que se extiende entre las 30 y 50 unidades astronómicas del Sol. La Nube de Oort y el Cinturón de Kuiper albergan cientos de miles de millones de cometas, todos de una composición similar. Se cree que todos los cometas de periodo largo (más de 200 años en completar una órbita alrededor del Sol) provienen de la Nube de Oort, mientras que la mayoría de los de periodo corto (menos de 200 años)

tienen su origen en el Cinturón de Kuiper. Sin embargo, recientemente se descubrieron otras dos poblaciones de cometas o cuerpos similares: una que se mezcla con el cinturón principal de asteroides y otra —los *centauros*— que se mueve entre los planetas gigantes y se extiende hasta el Cinturón de Kuiper. Los centauros se parecen a los cometas y a los asteroides. Se cree que algunos cometas de periodo corto pertenecen a este grupo.

Los cometas de la Nube de Oort y del Cinturón de Kuiper tienen órbitas poco alargadas que los mantienen dentro de su

región correspondiente. Los cometas con órbitas muy elípticas deben ser objetos de estas regiones con órbitas alteradas por algún acontecimiento. Por ejemplo, sabemos que el movimiento de muchos cometas está dominado por los planetas gigantes y en particular por Júpiter. La intensa gravedad de Júpiter puede desestabilizar las órbitas de los cometas y jalarlos hacia dentro, pero también puede expulsarlos del Sistema Solar. Algunos cometas atraídos por Júpiter terminarán chocando con ese planeta. El primer cometa que se observó en una trayectoria de colisión con Júpiter fue el Shoemaker-Levi 9, en 1994. Los cometas cuyas órbitas están fuertemente influenciadas por Júpiter se llaman cometas jovianos.

¿De qué está hecho un cometa?

De los cometas se dice que son “bolas de nieve sucia”. Esencialmente son pedazos de nieve sucia. Esencialmente son pedazos de hielo, 90% del cual es hielo de agua. El resto de su masa consta de una gran variedad de compuestos —muchos de ellos orgánicos— como monóxido y dióxido de carbono, amoníaco y metano; y algunos otros como guanina y adenina, que son dos de los cuatro componentes básicos de nuestro propio código genético (ADN y ARN).

Puede parecer sorprendente que los cometas sean básicamente agua, pero la exploración espacial y las observaciones astronómicas nos han mostrado que el



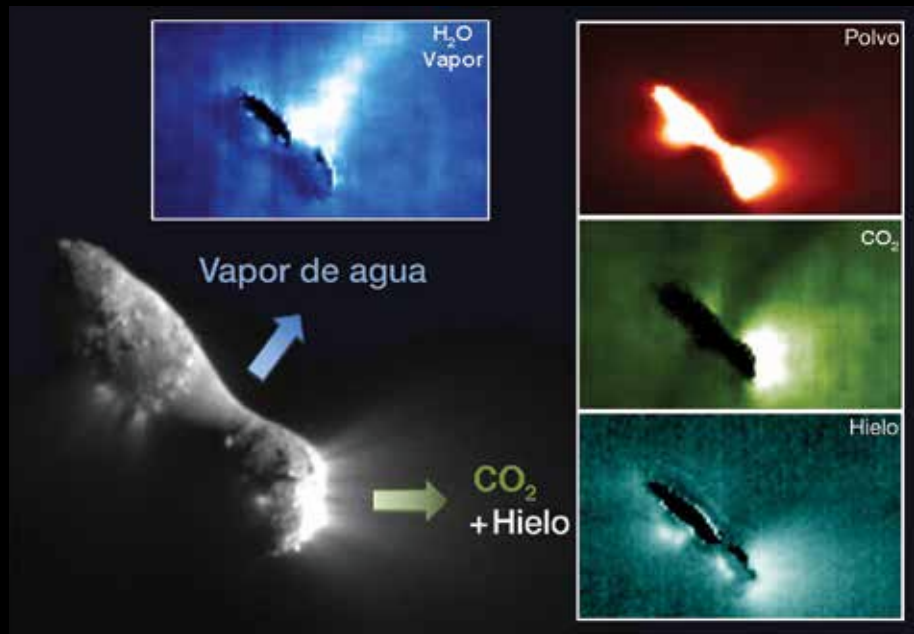
Atardecer y el cometa McNaught visto desde Chile (1 de enero de 2007).

agua es relativamente abundante en el Sistema Solar, sobre todo en las regiones exteriores, más allá de la órbita de Marte y del cinturón de asteroides. Por ejemplo, alrededor de los planetas gigantes como Saturno y Júpiter se puede ver una multitud de lunas cubiertas por gruesos mantos de hielo de agua, así como anillos de polvo y rocas del mismo material.

Agua y más agua

Se ha especulado que el agua en nuestro planeta proviene de los múltiples impactos de cometas que ocurrieron en las etapas tempranas de su formación, cuando los cometas no estaban confinados y se movían libremente por todas las regiones del Sistema Solar. Si así fuera, habría que suponer que estos impactos no sólo trajeron agua, sino también material orgánico esencial que pudo haber contribuido al surgimiento de la vida.

Con el Telescopio Espacial Herschel —que se mueve junto con la Tierra alrededor del Sol— se han hecho observaciones de cometas provenientes del Cinturón de Kuiper que apoyan la idea de que fueron los cometas de esa región los que trajeron una fracción importante del agua de la Tierra. Los estudios del cometa Hartley 2 (cometa del Cinturón de Kuiper) con la nave *Epoxi* confirman que el agua de su superficie tiene una composición muy similar a la de los océanos terrestres en lo



Escaneo infrarrojo del cometa Hartley 2.

Imagen: NASA/JPL-Caltech/UMD

tocante a la proporción de agua común y la llamada agua pesada.

El agua a la que estamos acostumbrados —la ligera— está formada por moléculas con dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Los núcleos de los átomos de hidrógeno se componen de un protón. Las moléculas del agua pesada están compuestas de un átomo de oxígeno y dos átomos de deuterio, que es una versión más pesada del hidrógeno o uno de sus *isótopos*. Los núcleos de los átomos de deuterio están compuestos de un protón y un neutrón, esto es, tienen casi el doble de la masa del hidrógeno normal.

En los océanos terrestres hay un átomo de deuterio por cada 6420 átomos de hidrógeno y se afirma que es la misma proporción que en el cometa Hartley 2. Sin embargo, como no toda el agua de la Tierra se debe a estos cometas, se argumenta que las colisiones de otros cuerpos menores, como algunos asteroides, podrían haber contribuido a las reservas de agua del planeta.

Vale la pena resaltar que la composición de los cometas del cinturón de Kuiper y los de la Nube de Oort es similar, pero no igual. Aunque en ambos casos hablamos de cometas compuestos básicamente de agua, se descarta a los cometas de la Nube de Oort como potencial fuente de agua para la Tierra, porque la proporción de deuterio que se detecta en ellos es mucho mayor que la que se observa en los océanos terrestres.

Un cometa, dos colas

Debido a que contienen muchos elementos ligeros y volátiles, los cometas son muy sensibles a los cambios de temperatura provocados por la radiación solar. Esta sensibilidad esculpe sus superficies y marca sus periodos de vida. Mientras los cometas se mantengan alejados del Sol, sus cuerpos permanecerán casi inmutables, salvo por alguna colisión con otros cometas vecinos. Sin embargo, una vez que se adentran en el Sistema Solar, sus cuerpos se van desgastando por la sublimación y la evaporación de sus hielos en la radiación solar.

Esto genera una atmósfera tenue, pero muy extendida, llamada *coma* (“cabelleira”), que nos impide ver su núcleo directamente y que les da esa apariencia borrosa. La coma se compone de gases generados por la evaporación y sublimación de sus hielos y por gases ionizados (o *plasma*) producidos cuando la radiación les arranca electrones a los átomos de los gases neutros, es decir, por ionización. La coma se compone también de grandes cantidades de finas partículas de hielo sólido que denominamos polvo.

A medida que los cometas se acercan al Sol, se incrementa la actividad de su superficie. La sublimación y evaporación se intensifican y empiezan a brotar chorros de gas. La coma crece y empieza a sentir con mayor intensidad los efectos de la radiación y el viento solar. El Sol no sólo



Rosetta y su módulo de aterrizaje Philae cerca del cometa 67P.

emite grandes cantidades de radiación electromagnética en todas las longitudes de onda (desde las ondas de radio hasta los rayos gama), sino también grandes cantidades de masa. Este incesante flujo de masa solar es un plasma de protones y electrones que llena todo el espacio entre los planetas y se percibe en los alrededores del Sol como un viento solar (ver *¿Cómo ves?* Núm. 176).

Tanto la radiación como el viento solar afectan los componentes de la coma. La radiación electromagnética afecta al polvo frenándolo y haciendo que se extienda por detrás del cometa a lo largo de su trayectoria. Las partículas del viento solar, en cambio, arrastran los gases ionizados a lo largo de la dirección de su propio movimiento, es decir, en la dirección opuesta al Sol. Así, los cometas desarrollan dos colas características: una de polvo y otra de gas ionizado (o cola de plasma).

La coma del cometa puede crecer hasta varios cientos de miles de kilómetros y sus colas pueden abarcar distancias de varios millones de kilómetros, lo que facilita observarlos a simple vista desde la Tierra.

Los otros objetivos de Rosetta

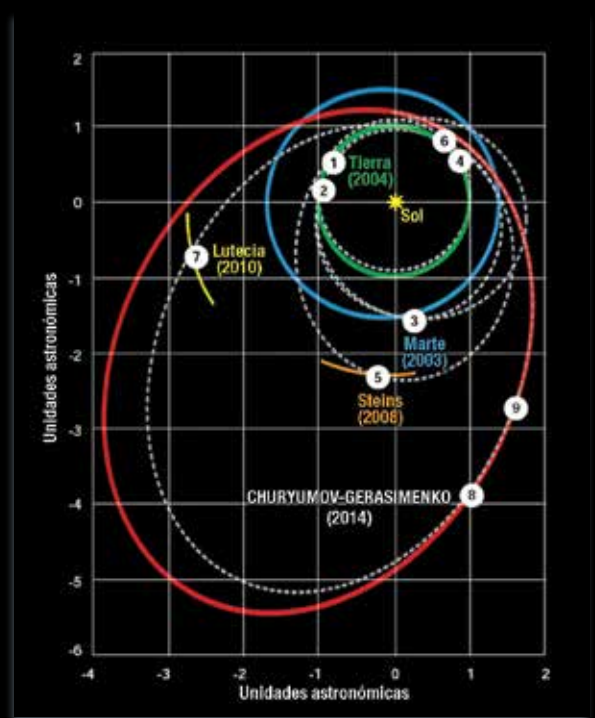
La misión *Rosetta* también se diseñó para que la nave pasara muy cerca de Steins y Lutecia, dos asteroides muy particulares del cinturón principal. El encuentro con Steins sucedió en 2008 y el encuentro con

Lutecia en 2010. Steins es un asteroide irregular y pequeño, de unos cinco kilómetros de diámetro, cuya característica principal es un enorme cráter que abarca la mitad de uno de sus hemisferios. Este cráter es señal de un impacto que debería haberlo fragmentado. Lutecia también es un cuerpo irregular, pero con un diámetro 20 veces mayor. La nave *Rosetta* pasó a unos 3 000 kilómetros de Lutecia. Este asteroide es atípico porque, a diferencia de sus vecinos cercanos, no es metálico. Se cataloga entre los asteroides de composición primordial; es decir, igual a la composición básica de la nube en la que se formó el Sistema Solar. Esto se infiere del importante porcentaje de agua y compuestos orgánicos volátiles que aún contienen, lo que evidencia que estos cuerpos se han modificado muy poco a lo largo de su historia. Estos asteroides pueden considerarse cápsulas de tiempo desde el punto de vista geológico o el de la cosmoquímica, disciplina que estudia la composición química de la materia en el Universo y los procesos que condujeron a ella. Igual que

los cometas, Lutecia parece ser un grumo de la “sopa” original en la que se formó el Sistema Solar.

Rosetta y Philae

La sonda *Rosetta* es de tamaño mediano, con una forma cúbica de poco más de dos metros de lado. Al momento del lanzamiento, su masa era de casi tres toneladas,



La ruta de Rosetta en el Sistema Solar.

de la cual más de la mitad era combustible para los 24 propulsores que se requieren para maniobrarla. Cien kilogramos de la masa total corresponden al módulo de aterrizaje *Philae*. Parte de la energía que consumen los sistemas de *Rosetta* proviene del Sol. La nave lleva dos paneles solares de 32 metros de longitud y paneles adicionales que cubren el cuerpo de *Philae*. Estas celdas le suministran una potencia promedio de 500 watts. El conjunto está diseñado para durar unos 12 años a partir de la fecha de lanzamiento.

La misión lleva en total 10 instrumentos de investigación. Los instrumentos de *Rosetta* analizarán con precisión el gas, el plasma, el polvo y la radiación de la coma y las colas del cometa. También medirán los campos magnéticos del ambiente y claro, tomarán imágenes de alta resolución del núcleo del cometa, como hicieron con los asteroides.

De forma similar, los instrumentos de *Philae* analizarán el gas, el plasma, el polvo y la radiación en la superficie del cometa. Sus cámaras están preparadas para filmar con detalle el aterrizaje y obtener

vistas panorámicas del paisaje cometario y microfotografías del terreno. La base de *Philae* cuenta también con taladros para perforar la superficie y tomar muestras. Cuenta además con escáneres que sondearán las capas profundas del núcleo con ondas de radio.

Los instrumentos de las naves espaciales deben ser lo más simples posible, consumir poca energía, ser muy eficientes y resistir las condiciones extremas del espacio exterior, lo que es un reto a la creatividad de los diseñadores. La nave *Rosetta* y el módulo *Philae* llevan algunos instrumentos muy complejos, pero también otros muy sencillos e ingeniosos, como uno de los monitores de polvo de *Philae*. El monitor DIM (siglas en inglés de “monitor de impacto de polvo”) es un pequeño cubo de unos siete centímetros de lado instalado en uno de los bordes superiores del módulo. Tres de sus lados (dos laterales y el superior) están cubiertos de cristales piezoeléctricos, que son muy sensibles a los cambios de presión en su superficie; cada impacto de partículas de hielo de tamaño milimétrico o un poco menor de la superficie del cometa produ-

MÁS INFORMACIÓN

- http://ciencia.nasa.gov/ciencias-especiales/02feb_rosetta/
- www.windows2universe.org/comets/rosetta.html&lang=sp

cirá una señal eléctrica de la que se puede inferir el tamaño, densidad y velocidad de la partícula. Esto permitirá caracterizar la actividad del cometa a medida que se acerca al Sol.

Buen viaje *Rosetta*

Un año después de las visitas a los asteroides Steins y Lutecia, *Rosetta* entró en una fase de hibernación para ahorrar energía. Su despertar está programado para este mes. La nave ya está a sólo un par de meses de su aproximación máxima al cometa 67P. Durante este corto periodo se harán las últimas pruebas de la respuesta de la nave y de su electrónica. Se espera que entre en órbita alrededor del cometa en mayo. Para entonces, los instrumentos de la nave principal ya estarán estudiando el núcleo del cometa en busca del sitio más apropiado para el aterrizaje del módulo *Philae*, que debe liberarse y aterrizar alrededor de noviembre de 2014.

La maniobra de aterrizaje es delicada. El sitio debe elegirse con cuidado, porque una vez liberado el *Philae*, no podrá maniobrar. El módulo descenderá con su propio impulso inicial y atraído por la débil gravedad del cometa. Hay poco margen para errores. La única ayuda que tendrá *Philae* será un conjunto de propulsores que se activarán al momento que sus patas toquen la superficie cometaria, para ayudar a anclarlo. La gran preocupación es que el punto de aterrizaje esté cubierto de material muy suelto y *Philae* no logre aferrarse firmemente.

Se espera que la nave acompañe al cometa hasta finales de 2015 y, si todo sale según lo planeado, que el módulo se plante en la superficie del cometa y la estudie por alrededor de cinco meses, mientras dure el combustible que contrarrestará las temperaturas gélidas para que funcionen bien los sistemas electrónicos. Después el *Philae* morirá de frío. 🐼



Ilustración: ESA - Medialab

El módulo *Philae* se posará en el cometa 67P en noviembre del 2014.

Alberto Flandes es investigador del Instituto de Geofísica de la UNAM, se dedica al estudio de la física planetaria y la física del medio interplanetario. Participa en la misión *Rosetta* en el monitoreo de polvo cometario.