

Crónica de una colisión anunciada

El final de la misión *Rosetta*

Por Alberto Flandes

He aquí los primeros hallazgos de la misión *Rosetta* al cometa 67P, pero apenas es el comienzo. Se ha analizado una fracción de los datos recabados por la sonda. Lo que falta nos revelará muchas cosas del 67P y de los cometas en general.

A principios de 2016, la Agencia Espacial Europea (ESA por sus siglas en inglés) anunció que en septiembre de ese año llegaría a su fin su misión más famosa: la misión *Rosetta*. La nave que durante cerca de dos años había estado orbitando el cometa 67P/Churiúmov-Guerasimenko, o simplemente 67P, sería proyectada hacia éste, y aunque pudiera sobrevivir al impacto, su antena ya no estaría dirigida hacia la Tierra, por lo que se perdería el contacto con ella. Aunque el aparato había superado las expectativas, sus instrumentos estaban ya en el límite de su vida útil y la reserva de propelente necesario para controlarlo se estaba agotando. La colisión programada se podía aprovechar como último esfuerzo de extraer algo más de información del cometa.

La nave *Rosetta* estuvo un total de 4985 días en el espacio, de los cuales casi 4000 se invirtieron en acelerar la nave para poder dar alcance al cometa 67P. En este proceso pasó tres veces por la vecindad de la Tierra y una por la de Marte, y también se aproximó a los asteroides Lutecia y Steins. El 6 de agosto de 2014 entró

en órbita alrededor del 67P y en noviembre del mismo año el módulo *Philae* que llevaba en su interior se desprendió de la nave y se posó en la superficie del cometa.

Misión accidentada

Aterrizar en un cometa fue una idea audaz que se hizo realidad no sin algunas dificultades. En particular, lo débil de la fuerza de gravedad del cometa complicaba la maniobra. Para evitar que el *Philae* rebotara, se le instalaron en la parte baja dos arpones que se dispararían al tocar la superficie, pero los arpones fallaron. El *Philae* terminó dando tumbos hasta perderse en el accidentado terreno del cometa. Para colmo, como mostraron las imágenes de sus propias cámaras, quedó atrapado entre riscos de hielo y roca que le bloqueaban casi toda la luz del Sol (véase *¿Cómo ves?* Nos. 182 y 196)

Tanto el módulo *Philae* como la nave *Rosetta* operaban con energía solar. *Rosetta* tenía dos paneles solares rectangulares de 15 metros de longitud y el *Philae* estaba revestido de celdas solares. El módulo no tardó en ponerse en estado

de hibernación por falta de energía. Se emprendió una intensa búsqueda y las cámaras y antenas de la nave se mantenían atentas a cualquier señal. La desventaja era que *Rosetta* orbitaba a más de 50 km de la superficie del cometa y desde esa distancia el módulo *Philae*, de apenas un metro de lado, era casi indistinguible por las cámaras. La nave no podía acercarse mucho a la superficie del cometa porque se desorientaba debido a que sus cámaras empezaban a confundir el brillo de las pequeñas partículas de polvo que flotan en las inmediaciones del cometa con las estrellas que usaba para orientarse. Se decidió entonces simplemente esperar a que mejoraran las condiciones de iluminación en el lugar de aterrizaje y que el *Philae*, al despertar de su sueño, le indicara al orbitador dónde se encontraba exactamente.

La primera señal de vida del módulo se recibió siete meses después, poco antes de que el cometa alcanzara su posición más cercana al Sol, lo que llamamos perihelio. La buena noticia era que el módulo tenía casi dos meses despierto y estaba en espera de instrucciones. La mala era que la nave *Rosetta* seguía demasiado lejos de la superficie como para poder establecer un contacto suficientemente estable y enviarle instrucciones que le permitieran reanudar la recolección de datos. Para empeorar las cosas, el cometa empezaba a alejarse del Sol. Al cabo del tiempo el *Philae* terminaría congelándose. Al final, el módulo se dio por perdido y se desconectó el canal

de comunicación entre los dos aparatos. Pocas semanas después, una imagen del sistema de cámaras mostró al módulo en una grieta y de costado.

La cantidad de datos que pudo tomar el *Philae* es muy pequeña; sin embargo, estos datos son increíblemente valiosos porque se tomaron muy cerca de la superficie del cometa, o incluso directamente sobre ésta, algo que no podrá superarse en décadas.

Lo que nos enseñó Rosetta

El 67P es un cometa relativamente común. Sus características podrían ser similares a las de otros cometas. Por ejemplo, el interior del 67P es más poroso que una esponja y está cubierto por una costra dura de material orgánico de varias decenas de centímetro. Tiene mucho menos agua de lo que se creía y en su composición predominan hielos simples y compuestos orgánicos. También produce mucho, pero mucho polvo.

→ ROSETTA

12 años 6 meses 28 días en el espacio

Acercamientos

lanzamiento: 2 marzo 2014



7.9 mil millones de kilómetros viajados



14 900 horas de contacto con las estaciones terrestres (6/8/2014 - 30/9/2016)

www.esa.int



1^{er} nave en orbitar y enviar una sonda a un cometa

218.25 GB de datos científicos recabados (6/8/2014 - 30/9/2016)

más de 16 650 imágenes de las cámaras (20/1/2014 - 20/9/2016)

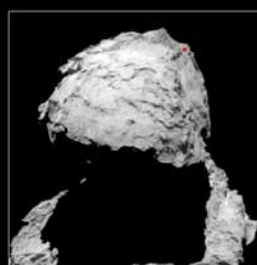
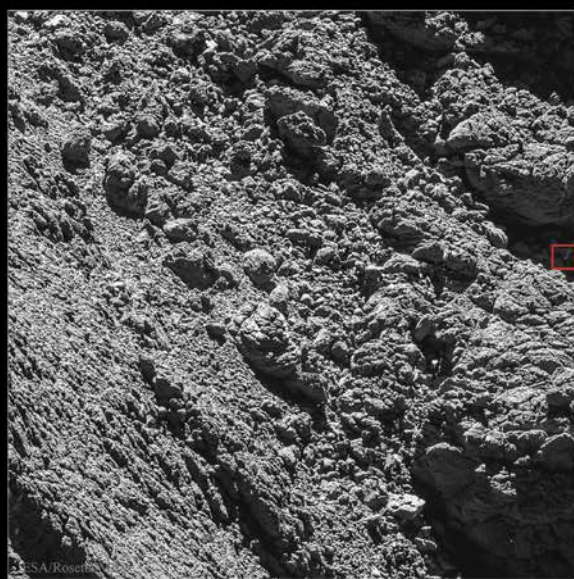
más de 21 000 observaciones científicas (20/1/2014 al 30/9/2016)

European Space Agency

El polvo es parte del material menos volátil del 67P y se produce por desgaste de la superficie al calentarla la radiación solar. El calentamiento propicia que escapen gases y vapores y que se pulverice la superficie. Los gases y vapores arrastran el polvo. Las partículas de polvo más grandes, de fracciones de centímetro o mayores, simplemente se asientan en la superficie y cubren el cometa, formando

una capa llamada *regolita*. Las partículas de pocos milímetros pueden quedar atrapadas en órbitas alrededor del cometa. Las más finas —por ejemplo, de milésimas de milímetro— son arrastradas por la radiación del Sol mediante un efecto conocido como *presión de radiación* y forman una de las colas del cometa, que puede extenderse millones de kilómetros.

Rosetta pudo captar una colección sin precedente de estas partículas de polvo con cuatro de sus instrumentos: el acumulador de polvo GIADA, los espectrómetros COSIMA y MIDAS (que analizan la masa de las partículas de polvo y la radiación que reflejan) y el monitor de impacto DIM (estos nombres son siglas en inglés). Algunas partículas eran compactas y estaban en estado prístino, es decir, sin alteración evidente por la radiación. Eran relativamente brillantes, con formas bien definidas y cierto contenido de minerales. Los instrumentos también fotografiaron pequeños y frágiles cúmulos con núcleos de carbono, algunos de los cuales parecían haberse desmoronado al impactar los detectores. En particular el GIADA, supervisado por el equipo de la Agencia Espacial Italiana, detectó dos tipos de partículas: unas de algunos milímetros con estructuras tan porosas, que sus densidades eran comparables a la del aire. Su



El 5 de septiembre de 2016, a menos de un mes de concluir la misión, una cámara de *Rosetta* encontró a *Philae* en una grieta del cometa 67P (imagen: ESA/Rosetta/NavCam/MPS/OSIRIS/UPD/LAM/IAA/SSO/IINTA/UPM/DASP/IDA).



Cuando un cometa se acerca al Sol desprende gases, vapores y polvo: está activo. En este montaje se aprecia la actividad en el cometa 67P (imagen: ESA/Rosetta/NAVCAM).

composición parecía similar al material que dio origen al Sistema Solar. Las partículas del segundo tipo eran hasta cinco veces más densas que el agua, tenían una estructura más compacta y se desplazaban a varios metros por segundo.

Si definiéramos el 67P a partir de su polvo, diríamos que está compuesto de una parte de hielos por casi nueve partes de otros materiales más compactos, o que alrededor del 28 % de su volumen total son materiales primordiales, o *condríticos*, como los que se observan en los cuerpos más primitivos del Sistema Solar, compuestos de silicio, oxígeno, hierro y magnesio. Casi la mitad de su volumen está constituida de compuestos del carbono.

El 67P en acción

Cuando un cometa se acerca al Sol, empieza a desprender gases, vapores y polvo. Se dice que el cometa está activo. La actividad depende de la órbita del cometa y de la radiación que recibe del Sol. La órbita del 67P es muy alargada. A veces está tan cerca del Sol como la Tierra (a una unidad astronómica o 1 UA) y a veces tan lejos como Júpiter (a 5 UA). Estas diferencias hacen que su actividad sea muy variable. Mientras más cerca esté el cometa del Sol, más intensa será su actividad. Pero en todo momento el cometa tiene partes iluminadas por el Sol y partes oscuras. Se observa que en las partes iluminadas los hielos se subliman (pasan del estado sólido al gaseoso), mientras que en las oscuras los gases se congelan.

La nave *Rosetta* no detectó un momento preciso de activación del cometa, lo que hace pensar que siempre experimenta algún grado de actividad. En 2014, cuando la nave alcanzó al 67P, se medía una emisión de material (gas, vapor y polvo) de

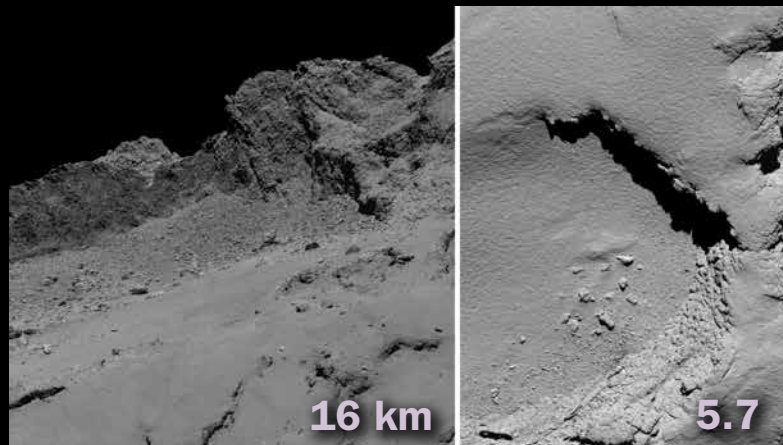
hasta 50 toneladas por día. A medida que el cometa fue acercándose al Sol, la emisión de material aumentó hasta alcanzar un máximo de 100 000 toneladas por día en el perihelio, alrededor de agosto de 2015. A veces la emisión se concentraba en chorros espectaculares expulsados a decenas de metros por segundo. Ya muy cerca del Sol, se pudieron observar chorros inusualmente intensos que expulsaban hasta 200 toneladas de material por segundo. En particular, en esas zonas se observaron derrumbes y avalanchas lo que confirmaba que lo abrupto y accidentado de la superficie del cometa que muestran las fotografías —con valles, acantilados y oquedades— se debe a su actividad. Más aún, entre 2009 y 2016 los chorros redujeron el periodo de rotación del cometa en un 5%.

Para qué quiero campo magnético

Al principio de la misión se llegó a especular que el 67P pudiera tener un campo magnético propio. Sin embargo, cuando la nave llegó al cometa, el único campo que pudo detectar fue el campo solar, o campo magnético interplanetario, que llena todo el espacio entre los planetas. Para que un cuerpo genere un campo magnético se requiere que tenga material conductor de la electricidad en el interior y alguna fuente de calor que ayude a mover ese material. Su movimiento genera corrientes eléctricas y éstas el campo mag-

nético. La única posible fuente de calor interno en el 67P es un elemento radiactivo llamado aluminio 26, que en cantidades grandes podría cumplir esa función, sin embargo sólo se observan trazas de este elemento y tampoco se detectan cantidades importantes de ningún material conductor.

Los campos magnéticos de los planetas como la Tierra repelen el campo interplanetario; los cuerpos sin campo magnético pero con atmósfera, como el 67P, también repelen el campo interplanetario gracias a que la radiación solar ultravioleta *ioniza* sus atmósferas y las vuelve impermeables a ese campo. Ambos efectos son similares y quizás esto pudo crear algo de confusión en el caso del 67P. Se dice que un gas está ionizado cuando la mayoría de sus átomos han perdido al menos un electrón y el gas se vuelve eléctricamente conductor. A este gas conductor se le llama plasma. En el caso de los cometas, los electrones de los átomos de la coma (la atmósfera temporal que adquiere el cometa cuando se acerca al Sol y los hielos empiezan a sublimarse) absorben la radiación ultravioleta (UV) solar y se separan de sus átomos. Entre más electrones puedan separarse, más ionizada estará la coma. Un detalle más es que el campo interplanetario viene acompañado de flujos continuos de protones y electrones solares que forman lo que llamamos viento solar. Aunque este viento no penetra la atmósfera del cometa, sí la presiona y la deforma; de hecho, arrastra parte de ésta, dando lugar a una segunda cola cometaria, aparte de la cola de polvo.



Las últimas imágenes del cometa 67P tomadas por *Rosetta* en su descenso poco antes del impacto el 30 de septiembre de 2016.

El zoológico de Altwegg

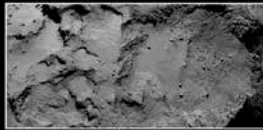
Tanto el instrumento ROSINA de la nave, como el instrumento COSAC del módulo *Philae* fueron capaces de detectar una variedad impresionante de compuestos químicos, algunos de los cuales no habían sido detectados en otros cometas. Técnicamente se pudo “oler” el cometa y se descubrió que no olía nada bien debido a cierta abundancia de compuestos como el monóxido y el dióxido de azufre, que al olfato humano dan la sensación de materia orgánica en descomposición.

La investigadora principal del instrumento ROSINA, Kathrin Altwegg, de la Universidad de Berna, Suiza, llama a esta variedad de compuestos “el zoológico de *Rosetta*”. A los compuestos de azufre los relaciona con animales apestosos, como el zorrillo. A los compuestos muy volátiles como el nitrógeno, el oxígeno o los monóxidos y dióxidos de carbono, los compara con mariposas; mientras que los compuestos más pesados, como el benceno y la naftalina, los compara con elefantes. A los compuestos afines a las sales los designa como peces tropicales. A los compuestos con largas cadenas de moléculas, como el metano, los llama jirafas y a los alcoholes detectados como el metanol, los compara con monos inquietos. Sin embargo, todos estos compuestos podrían ser apenas una parte de las especies químicas que habitan el cometa.

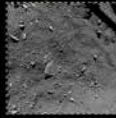
El hecho es que el 67P y los demás cometas contienen dos ingredientes necesarios para la vida: compuestos orgánicos y agua. No contienen vida en sí, pero algunos piensan que el agua y el material

➔ SITIOS DE DESCENSO SOBRE EL COMETA

Algilkis, primer sitio de descenso de *Philae*



OSIRIS

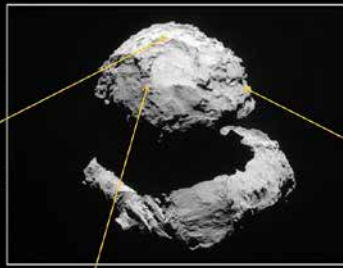


ROLIS

Abydos, sitio final de descenso de *Philae*



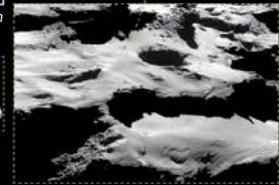
NavCam



Sitio programado de impacto de *Rosetta*



NavCam



NavCam

www.esa.int

Credits: ESA/Rosetta/Philae/CIVA, NavCam, ESA/Rosetta/NavCam - CC BY-NC-ND 3.0, OSIRIS, ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS, Rosina, MPS/UPM/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA, ROLIS, ESA/Rosetta/Philae/ROLIS/DLR

European Space Agency

Posibles puntos de impacto programados para la colisión final de *Rosetta* en el cometa 67P el 30 de septiembre de 2016.

orgánico que dieron origen a la vida en la Tierra pueden haber llegado en forma de cometas que chocaron con nuestro planeta.

Adiós, *Rosetta*

El 30 de septiembre de 2016 se dieron cita en la ciudad de Darmstadt, Alemania, algunos cientos de miembros de la misión *Rosetta* en el Centro Espacial y de Operaciones Europeo (ESOC, por sus siglas en inglés) para atestiguar la colisión controlada de la nave *Rosetta* con el cometa 67P. Algunos de los instrumentos de la nave, incluidas sus cámaras, estaban listos para capturar los últimos datos e imágenes. Como la nave y el 67P se hallaban a casi dos unidades astronómicas de la Tierra, las señales tardarían unos 14 minutos en llegar.

Cerca de la hora programada todos fijaron la vista en las pantallas que indicaban que *Rosetta* seguía recibiendo y enviando datos. Al mismo tiempo, Holger Sierks, del Instituto Max Planck de Investigaciones del Sistema Solar, en Alemania, quien es el investigador a

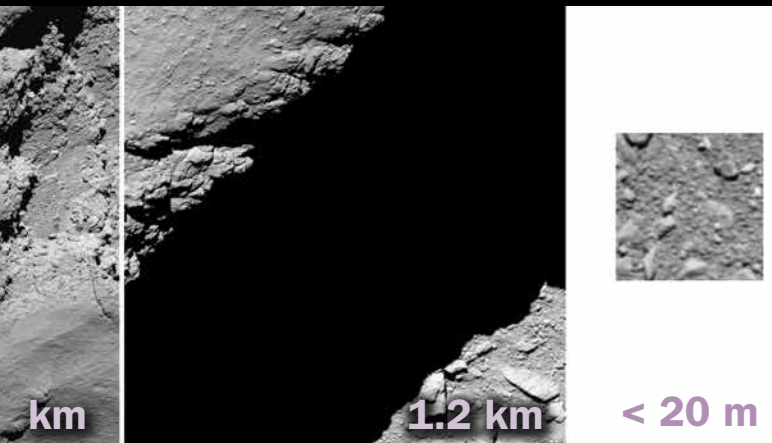
MÁS INFORMACIÓN

- Misión Rosetta, NASA: https://ciencia.nasa.gov/ciencias-especiales/06aug_rosetta6
- Esquivel, Laura, “Después del aterrizaje... regresamos”, *Cienciorama*: www.cienciorama.unam.mx/a/pdf/416_cienciorama.pdf

cargo de las cámaras OSIRIS, mostraba las imágenes finales que la nave tomaba en su aproximación hasta el momento del impacto, cuando se perdió contacto con *Rosetta*.

La última imagen que envió la nave fue tomada a unos 20 metros de la superficie y a unos 25 segundos de la colisión. Estaba fuera de foco porque las cámaras de esta nave no estaban diseñadas para tomar fotos tan de cerca, sin embargo se podía distinguir bien el sitio de impacto, al que se llamó Sais en honor al lugar donde se cree que fue elaborada la famosa piedra de Rosetta, fragmento de una estela egipcia antigua con un texto en tres lenguas que permitió descifrar los jeroglíficos egipcios y nos reveló todo un mundo, igual que su homónimo espacial. 👁

Alberto Flandes es investigador del grupo de Ciencias Espaciales del Instituto de Geofísica de la UNAM y colabora en algunas misiones espaciales de la NASA y la ESA.



Imágenes: ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA.