

MISION DEEP IMPACT

Indagando en el corazón de un cometa

Luisa M. Lara y Pedro J. Gutierrez (IAA)

El día 4 de julio de 2005 culminó con éxito la misión Deep Impact (NASA). A las 05:44:36 UT, un impactador de 370 kilogramos, lanzado desde una nave espacial, colisionó con el cometa 9P/Tempel 1, produjo un cráter en su superficie y como resultado lanzó al espacio una parte de su masa.

Esta misión, que comenzó a gestarse a finales de 1999, tenía como principal objetivo el estudio de la superficie del cometa Tempel 1 y lo que oculta debajo, sus características estructurales y su composición. Para ello se diseñó una sonda con dos partes: una nave matriz, con varios instrumentos a bordo (dos sistemas de imagen alta baja resolución: **HRI** (*High Resolution Image*) y **MRI** (*Médium Resolution Image*), éste último con la capacidad de tomar espectros a varias longitudes de onda) y un impactador de cobre (inerte) con un sensor para detectar el objetivo (**ITS**, *Impactador Targeting Sensor*) y con autonomía de movimiento.

La nave fue lanzada el pasado enero en un cohete Delta II. El 3 de julio, 24 horas antes del impacto, el impactador fue liberado para que colisionase con el núcleo cometario a una velocidad relativa de 10.3 kilómetros por segundo. Entonces, la sonda modificó su trayectoria para realizar un sobrevuelo del cometa a 500 kilómetros de su núcleo y poder observar el impacto. Una de las principales limitaciones de esta misión es que los instrumentos a bordo de la sonda podrían seguir el acontecimiento sólo durante 800 segundos. Esto hacía que las observaciones desde Tierra jugasen un papel crítico en la observación del impacto y su posterior evolución.

A continuación se resumen los principales datos y resultados obtenidos.

Núcleo

La forma del núcleo no se ha podido determinar completamente dada la lenta velocidad de rotación del núcleo (40.83 horas) y la rápida velocidad de la nave.

Se conoce que la dimensión más larga es de 7.9 kilómetros y la más corta es de 4.9 kilómetros, o sea, que es mucho menos elongado que lo que se estimaba a partir de



Imagen en falso color del cometa 9P/Tempel 1 donde se ve claramente la nube de polvo producida por el impacto. Esta imagen se ha obtenido dividiendo la del 4 de julio 2005 a las 21:30 UT (15.5 horas después del impacto) por la del 3 de julio a la misma hora aproximadamente. El campo de visión son 30.000x30.000 kilómetros. Norte está arriba y Este a la izquierda. Imágenes tomadas por el telescopio 2.2 m de Calar Alto (CSIC-MPG) por Lara y colaboradores.

observaciones desde Tierra. Lo que se ha podido observar de la superficie del núcleo indica que ésta tiene regiones con distinta morfología, es decir, los materiales en la superficie son variados, hay o hubo procesos geológicos, regiones con diferentes edades, cráteres de impactos naturales y no se han encontrado áreas de hielo puro sobre la superficie del núcleo. La misión también nos ha proporcionado el primer mapa de temperatura de la superficie de un núcleo cometario, que variaban entre -13°C y 57°C .

Impacto y efectos inmediatos vistos por "Deep Impact"

Las imágenes del impacto del proyectil con el núcleo del cometa se recibieron en la Tierra unos siete minutos después de producirse, exactamente a las 05:52:02 UT.

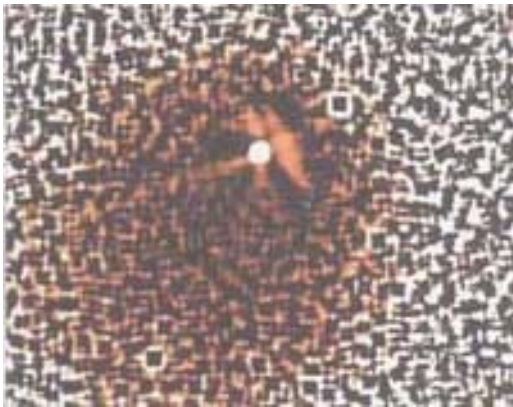
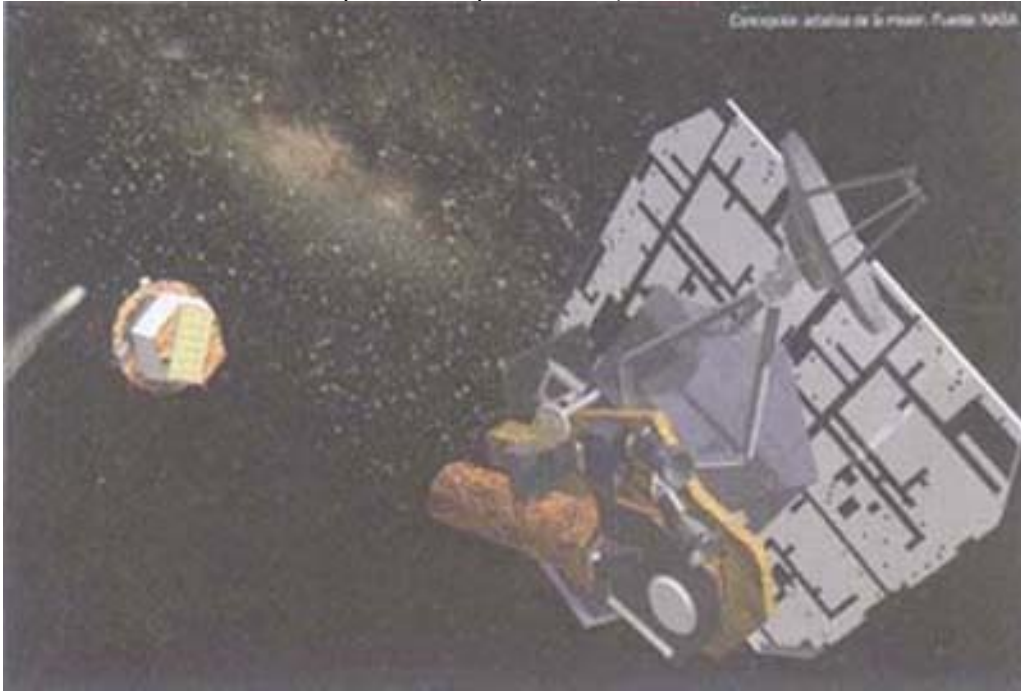


Imagen del cometa procesada de tal forma que la coma isotrópica se ha eliminado y se realzan aquellas estructuras dentro de la misma que no corresponden a una isotropía esférica. La orientación es la misma que en la primera imagen, y el campo de visión es 63.000x63.000 kilómetros. En esta imagen podemos ver un arco de material en la dirección noroeste con una extensión angular de casi 180 grados. Además se ven dos pequeños chorros en dirección sur y este-sur.

Consecuencia inmediata del impacto fue la eyección de una nube de polvo compuesta por partículas pequeñas –como los polvos de talco- a temperatura muy elevada (aproximadamente 1200 ó 1300°C) que llegó a viajar a una velocidad de aproximadamente cinco kilómetros por segundo. Segundos después del impacto se empezaron a “ver” fácilmente gases como H_2O , HCN , CO , compuestos orgánicos y otros con la estructura C-H en su fórmula estequiométrica (por ejemplo, CH_3OH , CH_3CN , o H_2CO ; éste último es un volátil crítico para el desarrollo de la química prebiótica). Estos gases no son excepcionales en los cometas, de hecho, se han visto en cometas activos y “grandes” como el cometa Hale-Bopp. Hasta la fecha no hay confirmación de que

Una nueva zona activa se haya producido sobre el núcleo como consecuencia del choque del proyectil. Asimismo tampoco la nave Deep Impact pudo 'ver' el cráter que éste produjo.

Tuvieron lugar observaciones desde Tierra y desde el espacio desde el momento del impacto hasta unos 10 días después de éste en prácticamente todo el espectro electromagnético (desde rayos-X hasta longitudes de onda milimétricas). La nube de polvo producida por el impacto se pudo resolver con el telescopio espacial 'Hubble' (resolución espacial de 30 kilómetros por píxel) unos 20 minutos después de haberse producido. Una media hora después del impacto, la nube de polvo era semicircular con su eje en dirección sureste, aproximadamente. El polvo en ella se expandía a una velocidad proyectada de unos 0.2 kilómetros por segundo. Hacia el 6 de julio, esta forma semicircular ya no era tan definida y las partículas de polvo estaban siendo empujadas por la presión de radiación hacia la cola del cometa. El 9 de julio el polvo



Imágenes del cometa Tempel 1 procesadas de tal forma que la cola isotrópica se ha eliminado y se realizan aquellas estructuras dentro de la misma que no corresponden a una isotropía esférica. La secuencia muestra la evolución de las estructuras, chorros, durante los seis meses previos al impacto. En abril se llegaron a detectar hasta siete estructuras. El campo de visión en cada imagen es 2.5x2.5 minutos de arco. El tamaño en kilómetros depende de la distancia a la Tierra a la que se halle el cometa (de 1.75 unidades astronómicas en enero hasta 0.78 en junio)

ya se había dispersado totalmente y no quedaba prácticamente ni rastro del evento.

El impacto no creó ninguna estructura nueva en la coma adicional a las que ya existían previamente. Lo que sí se observó es que los chorros existentes incrementaron ligeramente su brillo, pero tan solo 41 horas después todo había vuelto a su estado natural.

Durante los días inmediatamente anteriores y posteriores al impacto se analizaron especies gaseosas que se habían estado estudiando durante los seis meses previos a la localización. En el óptico se obtiene información de moléculas *hijas* (CN, C₂, C₃, NH, NH₂, CH) que proceden de la fotodisociación de otras (*padre*) que se suelen ver en el IR (H₂O, C₂H₆, CH₃OH, C₂H₂, HCN). Las especies *hijas* mostraron un aumento de un factor entre 1.5 y 5. Con respecto a las moléculas *padre*, se estima que en los momentos inmediatamente posteriores al impacto su abundancia con respecto a la del H₂O aumentó hasta valores que son similares a los que se encuentran en cometas procedentes de la nube de Oort. Entre las moléculas *padre*, las que presentaron mayor abundancia durante el impacto y horas después fueron aquellas con el enlace H-C-N (molécula prebiótica) en su estructura, probablemente procedentes de la fragmentación de esa cantidad ingente de granos de polvo producida por el impacto, o de la sublimación del hielo que hay en los mismos.

Las propiedades del polvo producido por el impacto son diferentes a las que se encuentran de forma natural en la coma del Tempel 1. Tras la colisión del proyectil con

el núcleo del cometa se pudieron detectar 'firmas' espectrales asociadas a minerales como el olivino amorfo, piroxeno, fosterita cristalina y piroxeno clino y orto. Estas características, que se pudieron observar hasta 26 horas después del impacto, de nuevo coinciden con las detectadas en cometas procedentes de la nube de Oort.

Dos días después, los espectros del cometa eran idénticos a los tomados antes del impacto.

Además de la 'explosión' de actividad inducida por Deep Impact, el cometa ha sufrido una serie de explosiones naturales a medida que se ha ido acercando al Sol. La primera detectada fue el 23-24 de febrero de 2005. Se detectó otra el 14 de junio gracias a datos adquiridos desde Calar Alto (CSIC-MPG) y a partir de ese momento y de la alerta creada en el equipo de Deep Impact, se detectaron hasta 6 más, la última detectada el 9 de julio. Estos estallidos naturales son muy parecidos al inducido por el hombre, es decir, el polvo eyectado va a una velocidad de unos 200 metros por segundo, se expande en forma de media luna con una extensión angular de casi 180 grados, el aumento del brillo es del 40 o 60 por ciento, pero aún no tenemos una explicación satisfactoria para estos fenómenos.

Desde el espacio hay que destacar la actuación de OSIRIS, con cámaras en el óptico e IR cercano, a bordo de la nave Roseta (ESA) y en cuya explotación científica el IAA (Instituto de Astrofísica de Andalucía) tiene un papel muy importante. OSIRIS observó el cometa desde el 28 de junio hasta el 14 de julio de forma ininterrumpida y llegó a obtener varios miles de imágenes. El hecho de estar en el espacio, ajeno a los amaneceres y atardeceres, a las nubes o a la humedad, permitió ver el impacto y la evolución del mismo con una frecuencia de más de una imagen por minuto en los momentos críticos que siguieron al flash. De las observaciones que OSIRIS obtuvo, se estima que el proyectil produjo en el núcleo la sublimación de $(1.5 \pm 0.5) \times 10^{32}$ moléculas de agua (o 4,6 millones de kilogramos). Para hacernos una idea, esta cantidad es un 20 por ciento de la cantidad de agua que había en la coma antes del impacto. Conocer la cantidad de polvo, en masa, es un tema más complejo y, por ahora, solo se pueden hacer aproximaciones basadas en modelos. Dependiendo de la distribución de tamaños de partículas de polvo, el cociente polvo/gas en el núcleo del cometa puede ser desde 20 hasta 100. Este resultado, de gran trascendencia, sugiere que los núcleos cometarios no son "bolas de nieve sucia", como se ha aceptado hasta ahora. De ser válidas las aproximaciones realizadas, los núcleos cometarios serían "bolas de polvo con algo de nieve".

Hasta la fecha, la única estimación del tamaño de cráter que produjo el proyectil de Deep Impact se ha hecho a partir de la información derivada de las imágenes de OSIRIS, y no porque las cámaras lo vieran. Estos estudios sugieren que el radio mínimo del cráter es aproximadamente de unos 30 metros.

Cuando los cientos de gigabites sean analizados y estudiados al detalle y de forma conjunta, se tendrá una visión más completa de las características del núcleo del cometa 9P/Tempel 1, de su material y de la evolución del mismo. Es labor de meses, probablemente años y la aventura con final casi desconocido y sorpresivo será sin duda apasionante. El principal resultado del análisis hecho hasta ahora es la sorprendente similitud entre las características del material eyectado por el cometa Tempel 1 y el material existente en las comas de los cometas de la nube de Oort (por ej Hale Bopp). Esto sugiere que los cometas de la Familia de Júpiter y los de la nube de Oort pueden tener un origen común.