

17P/HOLMES

**REPRESENTACIÓN
TRIDIMENSIONAL DEL ESTALLIDO
DE 2007**

Héctor Vives Arias

Introducción

La noche del 24 de octubre de 2007, una nueva estrella apareció en el cielo de la constelación de Perseo. El cometa 17P/Holmes, apenas visible con magnitud 14.5 y aumentando debido a su paso reciente por el perihelio de su órbita y su consecuente alejamiento tanto del Sol como de la Tierra, aumentó su brillo hasta alcanzar la magnitud 2.8 en un período de menos de un día. En poco tiempo comenzó a ser visible con telescopios, y posteriormente mediante binoculares e incluso a simple vista, una nube circular de polvo expandiéndose desde el punto que correspondería a la posición del núcleo de dicho cometa. En las fotografías realizadas por cientos de aficionados a la astronomía se pudo apreciar que la nube de polvo principal tenía una forma similar a una corteza esférica difusa. Además, con el paso de los días se pudo ver que una pequeña cola más brillante comenzaba a formarse desde el centro de la misma, desde la posición que ocuparía el núcleo del cometa.

Una de las características llamativas de este cometa es que parecía no tener cola extensa propiamente dicha debido a su posición, prácticamente alineado con el Sol y la Tierra, de modo que todo el material arrastrado por el viento solar hacia el exterior del sistema se alejaba de forma prácticamente radial de nuestro planeta, lo que hacía más complicado determinar la estructura de la nube de polvo y gas. Ésta y otras motivaciones llevaron a la decisión de realizar una representación de la estructura y expansión del material expulsado de forma aproximada en tres dimensiones.



Apariencia del cometa una semana después del estallido y aumento del tamaño de la nube en tan sólo dos días. Fotografías cortesía de José Ángel Carrión Rodrigo.

Hipótesis de partida

Es difícil saber a ciencia cierta qué fue lo que provocó esta gran y repentina expulsión de materia desde el núcleo cometario. Debido a la posición de su órbita en la zona del cinturón de asteroides, se planteó como hipótesis el impacto con algún cuerpo perteneciente a él. Sin embargo, este cometa fue descubierto por Edwin Holmes en 1892 debido a un aumento de brillo muy similar a este último, con un segundo aumento unos meses después del primero. Esto podría indicar que la causa de estos estallidos podría ser endógena, ya que la probabilidad de que se produzca ese número de colisiones con otros cuerpos actualmente es extremadamente baja.

Entre las otras posibles explicaciones se encuentra la explosión de una cámara de gas en el interior del cometa que se haya abierto paso hacia la superficie. La radiación solar habría aumentado la temperatura provocando la sublimación de parte del hielo bajo la superficie. Esto haría que la presión en la cavidad aumentase hasta que ésta cedió permitiendo que el gas se expandiera de forma explosiva, arrastrando consigo el polvo y las rocas que conformaban el "techo" de la cámara.

Una tercera causa podría consistir en el derrumbamiento de una oquedad o caverna cercana a la superficie del núcleo. Los cometas, tras años de estar expuestos al Sol, van adquiriendo una estructura porosa debida a la sublimación de las sustancias volátiles que componen los hielos de su núcleo, que al ser expulsadas al exterior junto con polvo y otros materiales dejan vacío el lugar que ocupaban anteriormente. Debido a la baja gravedad, estos huecos permanecen así mucho tiempo. No obstante, es posible que en el Holmes, en el reciente paso por el perihelio una de las cámaras se hubiera agrandado lo suficiente como para ser algo inestable. Si la parte superior hubiera cedido, estando el cometa cerca aún del perihelio, la radiación solar habría alcanzado repentinamente una gran superficie de hielo no expuesto durante eones, y su súbita sublimación generaría una enorme cantidad de gas cuya rápida expansión provocaría un estallido, como en el caso anterior. Tal vez esta hipótesis explicaría la posterior cola central observada, que consistiría en la sublimación, ahora más lenta, del resto de hielos que han quedado expuestos. Sin embargo, tomando la segunda hipótesis también podría darse este fenómeno, ya que el estallido expondría también nuevos hielos a la radiación solar.

Tanto la segunda como la tercera posibilidades serán las que se tendrán presentes en la recreación del suceso. Posteriormente se verá que para el nivel requerido el resultado sería el mismo tanto con una como con la otra.

Medios utilizados

Cinema 4D

Este software es un programa de modelado y animación en tres dimensiones por ordenador de uso común, generalmente para usos no científicos. Sin embargo, dispone de ciertas características que lo hacen interesante:

El sistema de partículas de Cinema 4D

Cinema 4D dispone de un sistema que permite animar decenas o miles de objetos (partículas) a la vez, usando para ello sólo determinados parámetros básicos. Para esta representación se utilizó el módulo *Thinking Particles*, que permite un mayor control sobre las características y animación de dichas partículas.

Para la creación de partículas se utiliza un objeto denominado emisor, que es el que contiene los parámetros ajustables para conseguir el efecto deseado. Los parámetros utilizados en esta representación son:

Velocidad de las partículas: establece la velocidad con que las partículas son emitidas (en unidades de longitud por segundo).

Variación de la velocidad: introduce el porcentaje de aleatoriedad respecto del valor anterior.

Diámetro del emisor: cuando éste es circular, establece el tamaño de la superficie imaginaria desde la que las partículas son emitidas (en unidades de longitud).

Ángulo de propagación: es el ángulo del cono imaginario que forman las partículas al ser emitidas (en grados). Si es de 0 grados, todas las partículas son emitidas en la misma dirección, dada por el eje Z del emisor.

Tiempo de vida: el número de fotogramas que dura la existencia de las partículas. Pasado este tiempo desde el momento de su emisión, una partícula desaparece.

Rango de emisión: número de partículas emitidas por segundo desde el emisor.

Todos estos parámetros pueden ser animados, de forma que sus valores varíen con el tiempo, simplemente asignando fotogramas clave, es decir, fijando en determinados fotogramas de la animación el valor deseado para el parámetro. El programa se encarga de interpolar la variación entre dos fotogramas clave consecutivos.

Modificadores

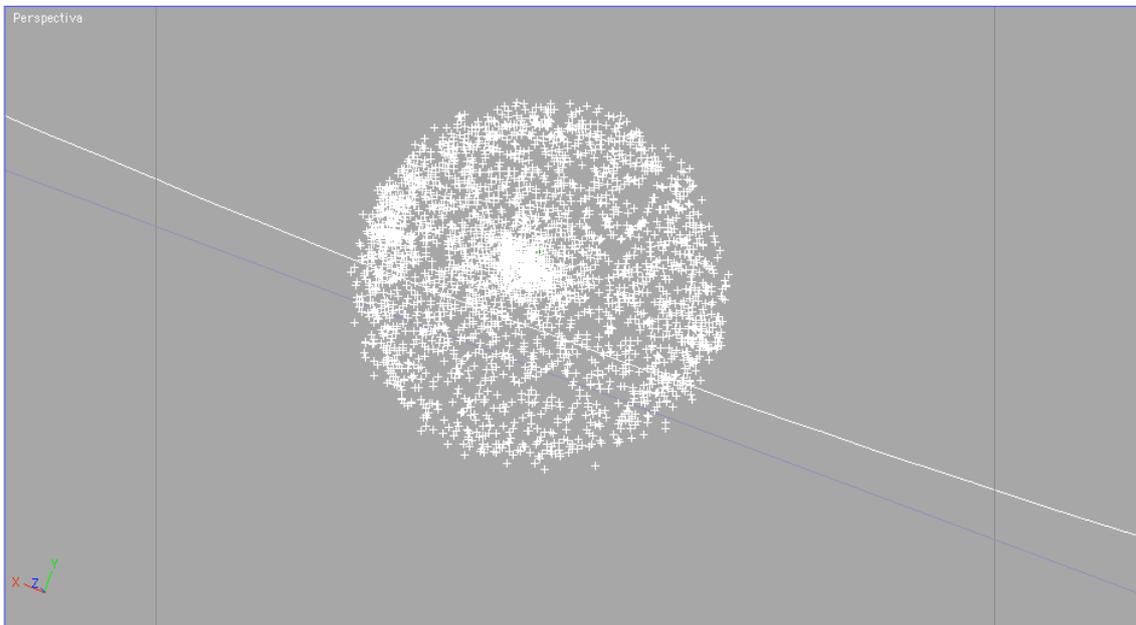
El sistema de partículas también dispone de ciertos objetos denominados *modificadores*, cuyo cometido es modificar el comportamiento de las partículas una vez emitidas. Entre ellos se encuentra el objeto *viento planar*, que será usado para simular el efecto del viento solar sobre el material expulsado por el cometa. Éste produce una aceleración en las partículas afectadas tangencialmente a la dirección del eje Z del modificador. Entre sus parámetros ajustables se encuentran su fuerza, el decaimiento con la distancia al objeto modificador, o la turbulencia, que añade una ligera variación a la fuerza ejercida sobre cada partícula.

Realización de la representación

Para esta simulación, el núcleo del cometa estará representado únicamente por un emisor básico de *Thinking Particles*, ya que el núcleo cometario es tan pequeño en comparación con la nube de material expulsado (3.4 km frente a miles de km) que no merece la pena ser representado físicamente. Además, debe tenerse en cuenta que el objetivo de la animación es visualizar la forma aproximada y expansión de la nube de polvo, y no el mecanismo exacto por el que ésta fue expulsada del cuerpo rocoso.

Al emisor se le animarán los parámetros de la velocidad de las partículas, el ángulo y el rango de emisión de éstas para crear la nube casi esférica principal, así como la cola de polvo secundaria que hacía su aparición en las observaciones. Como se ha dicho antes, el modificador viento planar se usará para simular el efecto del viento solar sobre dichas partículas.

Debido a que el programa utiliza en la mayoría de los casos unidades adimensionales para la muchos parámetros, no se tratará de realizar una simulación con datos totalmente realistas del suceso, sino una representación aproximada de la nube de polvo. Para ello se utilizarán métodos de ensayo-error, aproximándose a las observaciones únicamente por comparación visual del resultado. Con este fin se colocará una cámara en un ligero ángulo, también aproximado, que representará el punto de vista de la Tierra.



Vista del editor de Cinema 4D desde la cámara que simula el punto de vista terrestre para comparación visual.

Para generar la nube, el fundamento básico consistirá en la animación del rango, la velocidad y el ángulo de emisión para generar una gran cantidad de partículas veloces en todas direcciones desde lo que sería la superficie del núcleo en los primeros fotogramas, para luego disminuir bruscamente la tasa de emisión y la velocidad creando así la cola secundaria, más brillante. Para esta última, se asumirá que está formada por material eyectado a baja velocidad por sublimación de los hielos expuestos por el estallido inicial, y que el material es arrastrado hacia el exterior del sistema solar por el viento solar. No

se tendrá en cuenta el movimiento propio del cometa en esta representación, ni tampoco la posible rotación de su núcleo. El emisor de partículas permanecerá con posición y orientación fijas, así como el modificador viento planar, ambos alineados y orientados según el eje Z del espacio tridimensional.

La animación completa consta de 900 fotogramas (30 segundos), y tras una serie de tests, los parámetros finales fueron los siguientes (el fotograma correspondiente a cada valor, en el caso de que éste estuviera animado, se indica entre paréntesis seguido de la letra F):

Emisor:

Velocidad de emisión: 300 (0 F - 13 F), 80 (20 F - 900 F)

Variación: 15 %

Ángulo de emisión: 180° (0 F), 190° (5 F - 900 F)

Rango de emisión: 500 (0 F), 5000 (0.6 F - 12 F), 25 (19 F - 900 F)

Tiempo de vida: 901 F

Viento planar:

Fuerza: 30

Turbulencia: 3

En la **renderización** (paso a imágenes o vídeo de los datos en 3D), se usaron tres cámaras distintas, para poder contemplar el suceso desde diferentes ángulos. De este modo, se tienen tres animaciones:

1) Vista frontal, con la cámara usada para comparación de imágenes, de modo que se tiene un ángulo similar al que se tenía desde la Tierra cuando ocurrió el suceso.

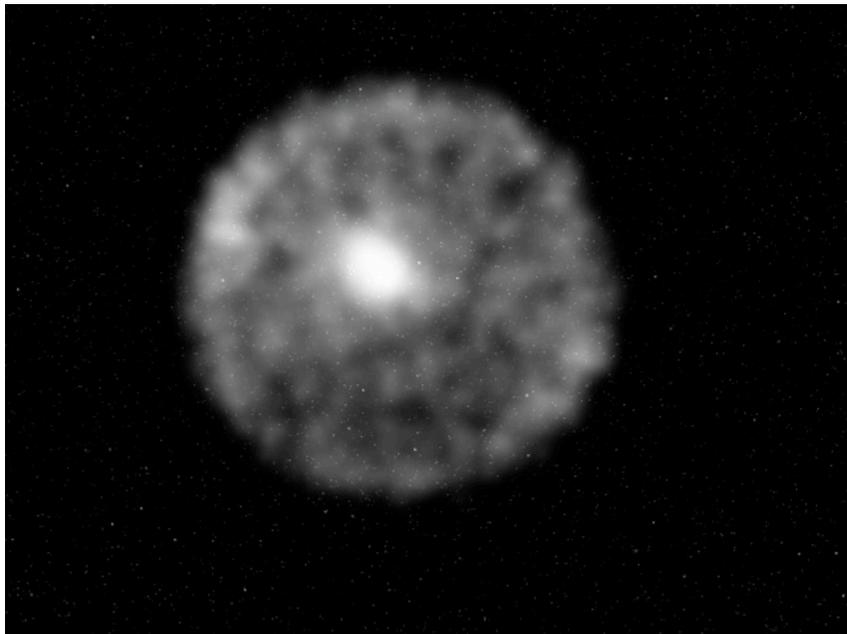
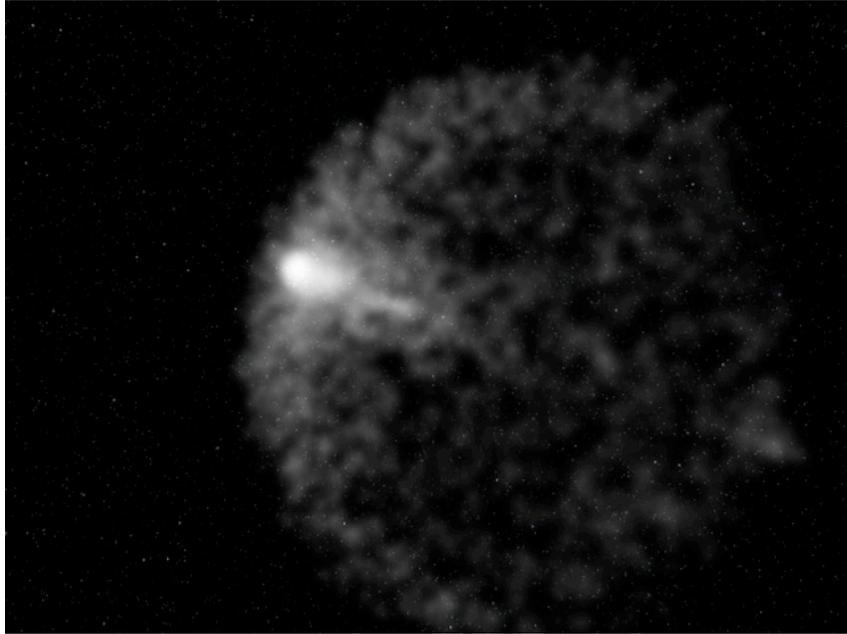


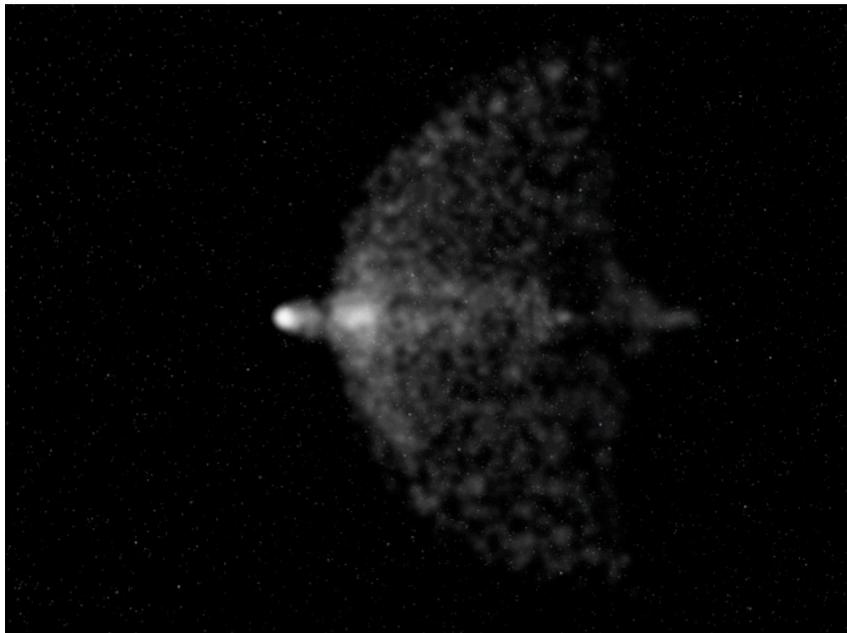
Imagen perteneciente a la animación, mostrando el fotograma 254 de la vista frontal.

2) Una segunda cámara se colocó en movimiento circular con centro en el núcleo cometario, pero el objetivo de la cámara centrado en un lugar posterior a éste, debido a que la nube de polvo es arrastrada por el viento solar, y de otro modo quedaría fuera del encuadre. La distancia entre la cámara y el centro del estallido es siempre constante.



Fotograma 515 de la animación, en vista oblicua, donde se comienza a observar la forma tridimensional de la nube.

3) Vista lateral. Cámara situada en dirección perpendicular a la línea que correspondería a la alineación Sol-cometa, de modo que se tiene una vista de la estructura de la nube de polvo expulsada.



Fotograma 626 en vista lateral.

La animación completa puede verse en: <http://es.youtube.com/watch?v=TJBHm2f-4zo>

Conclusiones derivadas de la realización de esta representación

Se puede comprobar que en la animación se reproduce de forma bastante aproximada la estructura observada en el estallido y expansión de la nube de polvo en el caso real. Esto indicaría que el representar el suceso con partículas a gran velocidad para el estallido inicial, y un flujo a menos velocidad (unas cuatro veces menor) para el arrastre posterior de partículas de polvo por sublimación del hielo que genera la cola secundaria, podría ser correcto. Haciendo cálculos aproximados, sabiendo que el inicio tuvo lugar el 24 de octubre, y que en torno al 9 de noviembre la nube superó en diámetro físico al del Sol, tenemos una velocidad de expansión de la nube exterior de unos 1800 km/h, o unos 500 m/s. Esto daría una velocidad de eyección de las partículas para la cola secundaria de en torno a 130 m/s, o unos 480 km/h. Sin embargo hay que recordar que esta segunda estimación es sólo orientativa.

Otro hecho llamativo es la enorme tasa de material expulsado para formar la nube de polvo circular en comparación con la necesaria para formar la cola secundaria. Las cantidades pasan de 5000 partículas emitidas por segundo de animación a sólo 25 cuando se da por finalizado el estallido inicial, para que la densidad (visual) del material fuera similar a la mostrada en las fotografías. El estallido arrastró consigo una gran cantidad de polvo y material no volátil, mientras que la sublimación posterior del hielo expuesto aporta a la cola secundaria mucha menos cantidad. El hecho de que la cola secundaria sea más brillante estaría causado por la expansión muchísimo menor de sus materiales, y el aporte de forma más continua desde el núcleo.

En la vista lateral se puede observar lo que podría ser la futura evolución de la nube de polvo resultante del estallido inicial: ésta continuaría expandiéndose hasta que fuera arrastrada hacia el exterior del sistema por el viento solar, dejando la llamada cola secundaria como único rasgo visible del cometa, en el caso de que la sublimación de materiales no se redujese excesivamente antes de ocurrir esto. Sin embargo, de acuerdo con las observaciones, esto no parece estar sucediendo exactamente así. Además, la nube, que en la representación es prácticamente semiesférica, parece adoptar más bien una forma de paraboloide de revolución en el caso real. Esto podría ser debido a diversos motivos, entre los cuales se encuentran los siguientes:

En la representación, se ajustó el valor del viento solar para que la cola secundaria tomase una longitud comparable a la observada en las fotografías en el tiempo de animación. No obstante, es probable que las partículas de polvo emitidas en el estallido inicial sean más masivas que las arrastradas posteriormente para formar la cola central, de modo que la longitud de esta última se formaría con mayor rapidez de la mostrada en la animación, alcanzando un tamaño significativo antes de que la nube inicial quede por detrás del núcleo. La forma de paraboloide podría ser debida a un gradiente de masa o velocidades (o incluso ambos) en cuanto a la distribución de las partículas eyectadas en ese estallido. De este modo, si la velocidad de éstas fuese mayor al aumentar el ángulo de emisión respecto a la superficie (es decir, la velocidad es máxima para aquellas lanzadas en la dirección de la normal, y va disminuyendo con el ángulo hasta ser más baja en las lanzadas hacia el horizonte del núcleo del cometa), y suponiendo que el estallido tuvo lugar en un punto cercano al subsolar, la nube adquiriría este perfil. Por otra parte, si la

masa promedio de las partículas de polvo expulsadas decrece cuanto más bajo es el ángulo respecto a la superficie del núcleo, es posible que la diferente aceleración producida por el viento solar sobre las partículas “deformase” una nube inicialmente semiesférica, produciendo el paraboloides.

Otra posibilidad considerada estaría relacionada con la interacción entre el gas expulsado por el cometa (no el polvo) y el viento solar. La nube de gas, no representada en esta animación, era claramente visible en fotografías de larga exposición, al principio formando sólo una coma de diámetro superior al doble del de la nube de polvo (en torno al 28 de octubre), y posteriormente (desde el final de octubre e inicios de noviembre) fue apreciable una cola más tenue, pero de mucho mayor tamaño, de gas arrastrado por el viento solar. Este “gas” es en realidad plasma, compuesto por las sustancias sublimadas después de ser ionizadas por la radiación del Sol, de ahí su brillo en las fotografías. Estos iones interactúan con el viento solar y el campo magnético asociado, creando una onda de choque frente al cometa. A partir de las interacciones entre el viento solar y el gas del cometa que se dan en ella, se genera una “barrera magnética” algo más interior a esta onda, y más cerca del núcleo se encontraría la llamada “superficie de contacto”, en forma de paraboloides de revolución, a lo largo de la cual se deslizaría el viento solar. Es posible que esta modificación de la circulación del viento solar alrededor del cometa, siendo frenado cuando procede de frente, y gradualmente desviado al pasar a distancias mayores del núcleo, la que produzca esta forma en la nube de polvo.

Posibles mejoras en una futura versión

A la vista de lo anterior, sería posible realizar una serie de cambios para mejorar esta animación, en caso de que se decidiera realizar una versión más detallada, y que tal vez serviría para contrastar algunas de las hipótesis planteadas.

En primer lugar, convendría situar el cometa, el punto de vista (la Tierra), y el origen del viento solar (el Sol) en sus posiciones relativas, y con el correspondiente movimiento. De esta forma se conseguiría tanto una mayor fiabilidad en la comparación visual de resultados con las fotografías (pudiendo en este caso establecerse comparaciones numéricas), como una mayor sensibilidad de la simulación a factores como la traslación del cometa, permitiendo así estudiar sus efectos sobre la forma de la nube de polvo, así como el cambio de orientación de ésta respecto al observador.

En segundo lugar, sería interesante comprobar directamente los efectos de los gradientes de velocidades, masas, o ambos, en las partículas emitidas en el estallido, y así comprobar su efecto sobre la distribución de éstas en la expansión.

Por último, una simulación de los efectos magnéticos de la interacción entre la coma de iones y el viento solar permitiría comprobar la última posibilidad planteada sobre la forma parabólica de la expansión. Sin embargo, resulta imposible reproducirlos en un software de este tipo.

Referencias

Wikipedia, the free encyclopedia

<http://en.wikipedia.org/wiki/17P/Holmes>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Comet>

Wikipedia, la enciclopedia libre

<http://es.wikipedia.org/wiki/17P/Holmes>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Cometa>

Dpto de Astrofísica (UCM) – Cometa 17/P Holmes (y noticias enlazadas)

http://www.ucm.es/info/Astrof/obs_ucm/cometas/Cometa_17P_Holmes.html

Rastreadores de Cometas: Nociones de morfología cometaria

<http://cometas.astronomiaonline.com/curso/>

SolarViews: Comet 17/P Holmes

<http://www.solarviews.com/eng/holmes.htm>

Composición fotográfica mostrando la expansión y cambio de posición en el cielo del cometa Holmes

<http://www.cs.cmu.edu/~pane/holmes/>

Fotografías del cometa realizadas por astroaficionados de todo el mundo desde su estallido hasta comienzos de enero:

http://www.spaceweather.com/comets/gallery_holmes.html

Erhard Kepler: *Sol, lunas y planetas* Ed. Salvat, 1986. pp. 93-100