

# Cometables: búsqueda de actividad cometaria en asteroides

Esteban Reina – Julio Castellano

Entre los cometas descubiertos en los últimos años mediante la observación CCD, aproximadamente el 25% de ellos empezaron su “vida pública” como asteroides, y sólo después de un cierto tiempo (desde algunos días hasta varios años) se observó en ellos la coma y la cola que desvelaron su verdadera naturaleza (figura 1). Probablemente se trata de cometas muy viejos que han sido retenidos en órbitas de apariencia asteroidal tras uno o varios encuentros con los grandes planetas. ¿Es posible desarrollar una estrategia basada en aspectos orbitales que permita centrar la búsqueda de actividad en un grupo concreto de asteroides? Por otra parte, para determinar la naturaleza cometaria de un objeto, el MPC exige que este presente claras señales de actividad: coma y/o cola. ¿Es posible, aunque esas señales sean negativas, encontrar algún indicio de actividad que invite a insistir en la observación de un asteroide concreto?

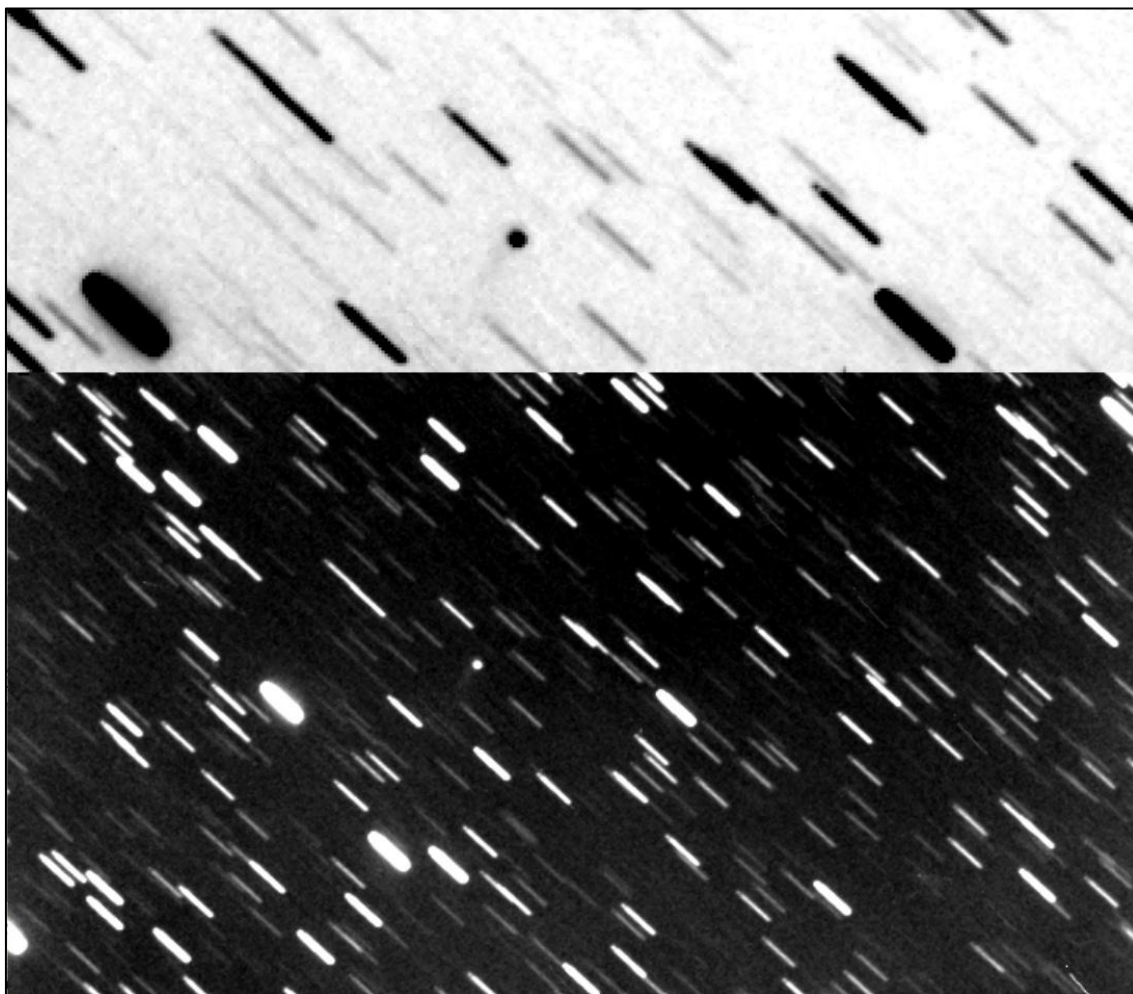


Figura 1. P/2006 HR30. Este cometa fue considerado un asteroide durante más de tres meses después de su descubrimiento, y fue necesario el empleo de un telescopio de 3.5 m. para revelar su verdadera naturaleza. Su escasísima actividad nos permitió utilizarlo para poner a prueba nuestro método.

## Parte I, análisis orbital

### Un poco de historia

Las teorías más aceptadas sobre la formación del Sistema Solar consideran que la Nube de Oort (Figura 2) es una región esférica situada a unas 100.000 UA del Sol (0.5 años luz), que marca la frontera exterior del Sistema Solar y donde se encuentran la mayoría de los cometas en órbitas prácticamente circulares. Su existencia fue propuesta por primera vez en 1932 por Ernst Öpik y retomada en 1950 por el astrónomo holandés Jan Hendrik Oort para explicar por qué siguen existiendo cometas a pesar de que en cada paso por el perihelio estos pierden parte de su masa. Probablemente a causa de perturbaciones gravitatorias inducidas por estrellas próximas, algunos cometas ven alteradas sus órbitas cayendo hacia las regiones centrales del Sistema Solar, donde pueden sufrir destinos diferentes. Una parte de ellos caen directamente hasta el Sol, donde son destruidos; otros no se acercan tanto al Sol y vuelven a salir de sus cercanías con su órbita prácticamente inalterada; y por último, algunos de ellos sufrirán un encuentro próximo con algún planeta. Estos encuen-

tros tienen dos consecuencias diferentes: si el cometa gana energía en el encuentro, aumentará su velocidad lo suficiente como para ser expulsado del Sistema Solar, pero si el resultado es una pérdida de energía cinética, el cometa entrará en una órbita elíptica y quedará confinado en la zona interior de Sistema Solar.

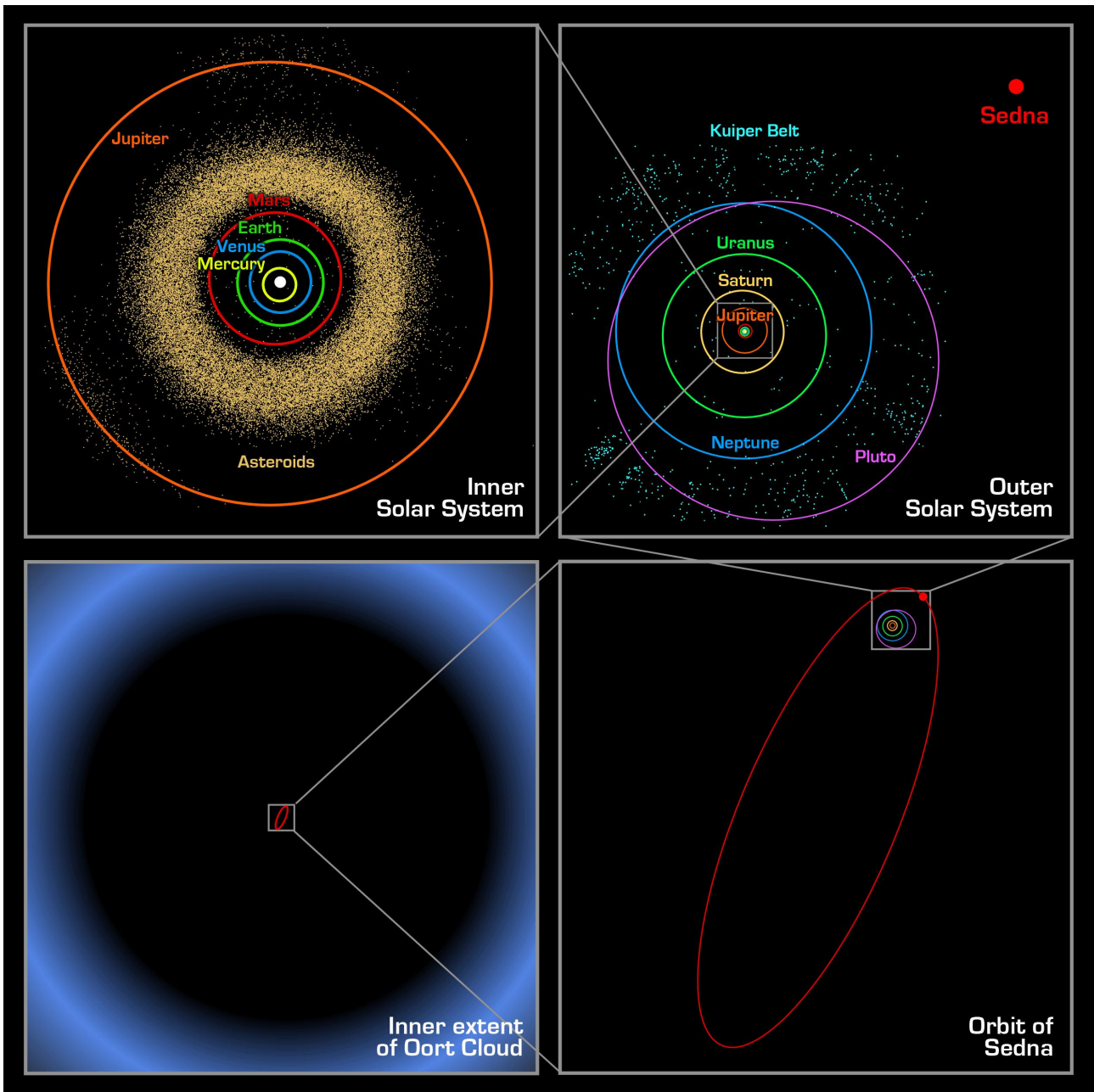


Figura 2. Las escalas del Sistema Solar (cortesía NASA-JPL).

### El parámetro de Tisserand

El astrónomo francés François Félix Tisserand, que fue director de los observatorios de Toulouse y París en el siglo XIX, trabajó intensamente en el campo de la mecánica celeste y en el estudio y análisis de las órbitas. Uno de sus descubrimientos más importantes fue el desarrollo de una expresión, más tarde conocida como “Parámetro de Tisserand” (figura 3), que relaciona ciertos elementos orbitales de un cuerpo pequeño con el semieje mayor de otro mucho más grande, y que permanece casi constante tras el encuentro de ambos. Precisamente utilizó esta expresión para identificar orbitas diferentes del mismo cometa tras el encuentro con un gran planeta. Su trabajo sigue vigente en la actualidad ya que se emplea en navegación espacial, en el cálculo de la utilización de planetas para asistencia gravitatoria. Tisserand encontró que el valor de su expresión relativa a Júpiter ( $T_j$ ) establecía una diferenciación entre asteroides y cometas, siendo en general  $T_j < 3$  para cometas y  $T_j > 3$  para asteroides.



$$T_J = \frac{a_J}{a} + 2 \left[ (1 - e^2) \frac{a}{a_J} \right]^{1/2} \cos(i)$$

Figura 3. El parámetro de Tisserand relaciona el semieje mayor de un gran planeta con el semieje mayor, la inclinación y la excentricidad de un cuerpo mucho menor. Tisserand descubrió que esta relación permanece constante después de un encuentro gravitatorio entre ambos (cortesía Wikipedia).

### Profundizando en el análisis orbital

Aplicando el parámetro de Tisserand relativo a Júpiter a la población de asteroides conocidos en la actualidad (septiembre de 2007), encontramos que la cantidad total asciende a 344.850 mientras que sólo son 4.044 los que tienen un  $T_J \leq 3$ , con lo que los posibles objetivos observacionales se han reducido sustancialmente (figura 4). Sin embargo, examinando detalladamente los elementos orbitales que participan en la expresión de Tisserand, encontramos ciertas diferencias entre asteroides y cometas, que nos indican que hay más posibilidades de selección.

Al comparar el semieje mayor de los cometas con el de los asteroides (ya filtrados por  $T_J > 3$ ), encontramos que estos últimos forman cuatro grupos definidos: Grupo "A" ( $a \approx 5.2$ ), "B" ( $a \approx 4.0$ ), "C" ( $a \approx 3.2$ ) y "D" ( $2.2 < a < 3.8$ ). Llama la atención que la posición de los grupos A y C corresponden con sendas regiones de escasez relativa de cometas, aunque es menos evidente para el grupo B y no parece existir para el C (Figura 5). La influencia de Júpiter en estas agrupaciones es muy llamativa. En efecto, los semiejes de los grupos A B y C corresponden con tres familias de asteroides dominadas por la influencia gravitatoria del mayor de los planetas: Los Troyanos, con una resonancia respecto a Júpiter de 1:2; los Hilda, resonantes en 2:3 y los Cybeles, resonantes en 1:2. Además, existen consideraciones dinámicas analizadas por el propio Tisserand, que demuestran que cuerpos provenientes de regiones fuera de la influencia de Júpiter no pueden alcanzar la estabilidad orbital en estas regiones resonantes, lo que explica la ausencia de cometas.

Algo parecido ocurre al comparar la excentricidad. Aunque la distribución es mucho más regular, los asteroides se concentran en  $e \approx 0.5$  mientras que la mayor concentración de cometas aparece en  $e \approx 0.1$ .

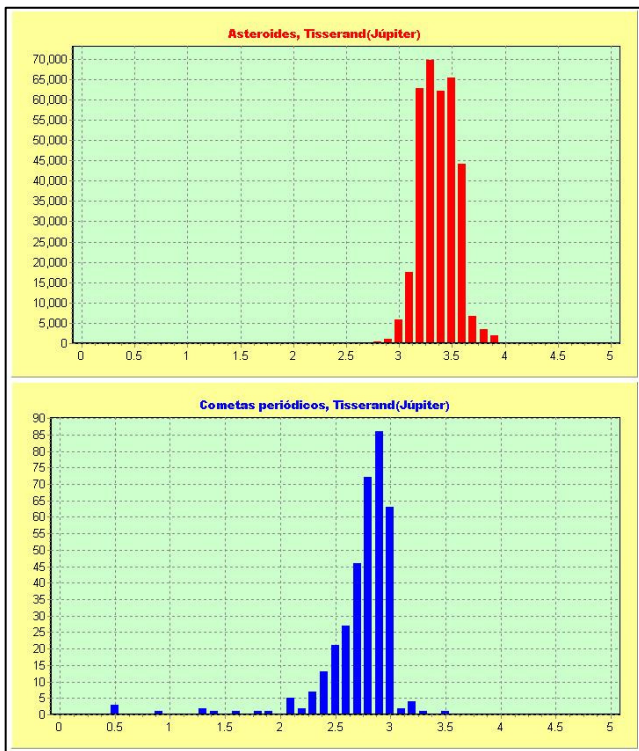


Figura 4. Abundancia de asteroides y cometas según el parámetro de Tisserand. Un valor de  $T_J=3$  separa casi completamente las poblaciones de las dos clases de cuerpos.

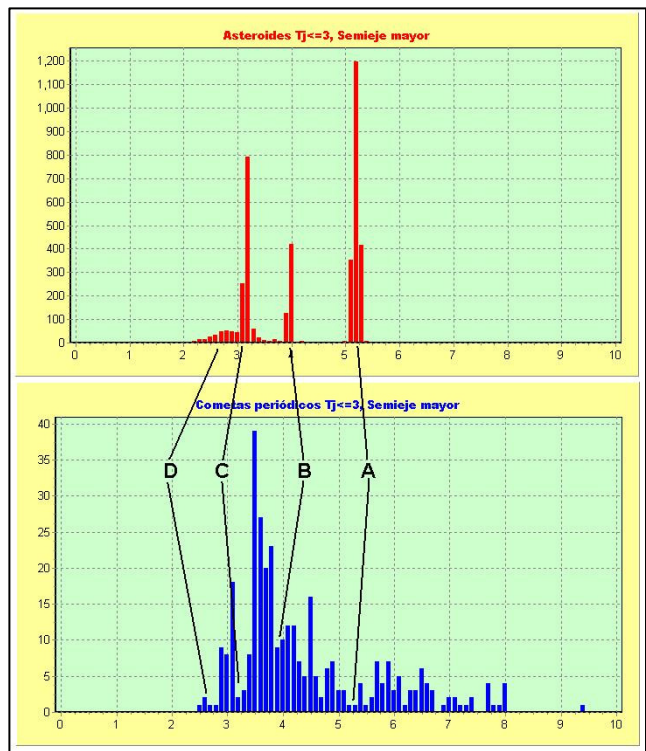


Figura 5. Comparación por el semieje mayor entre las poblaciones de asteroides (ya filtrados por  $T_J \leq 3$ ) y cometas, en la que se observa que las concentraciones de asteroides en A ( $a \approx 5.2$ ) y C ( $a \approx 3.2$ ) corresponden con ausencias de cometas, mientras que en B ( $a \approx 4.0$ ) la ausencia no es tan evidente y no existe en D ( $2.2 < a < 3.8$ ).

Por último, la comparación de la inclinación no produce resultados concluyentes, al ser la distribución en ambas clases de objetos muy parecida, situándose la mayoría de ellos entre  $0^\circ$  y  $40^\circ$ .

El siguiente paso es una consecuencia inmediata de los resultados anteriores: para tener una visión general de la distribución de asteroides y cometas construimos una tabla bidimensional con los elementos que han resultado más significativos (semieje mayor y excentricidad) y situamos sobre ellos las posiciones de asteroides y cometas (Figura 6). Ahora podemos definir con precisión las diferentes zonas en las que se da a la vez una alta concentración de asteroides junto con una escasez relativa o incluso ausencia de cometas, lo que nos lleva al establecimiento de unos criterios de exclusión de asteroides: para la zona A serían  $5.02 < a < 5.4$  y  $e < 0.25$ , para la zona B  $3.9 < a < 4.03$  y  $e < 0.4$ , mientras que las zonas C y D se fusionan en una sola definida por  $e < -0.4a + 1.72$ .

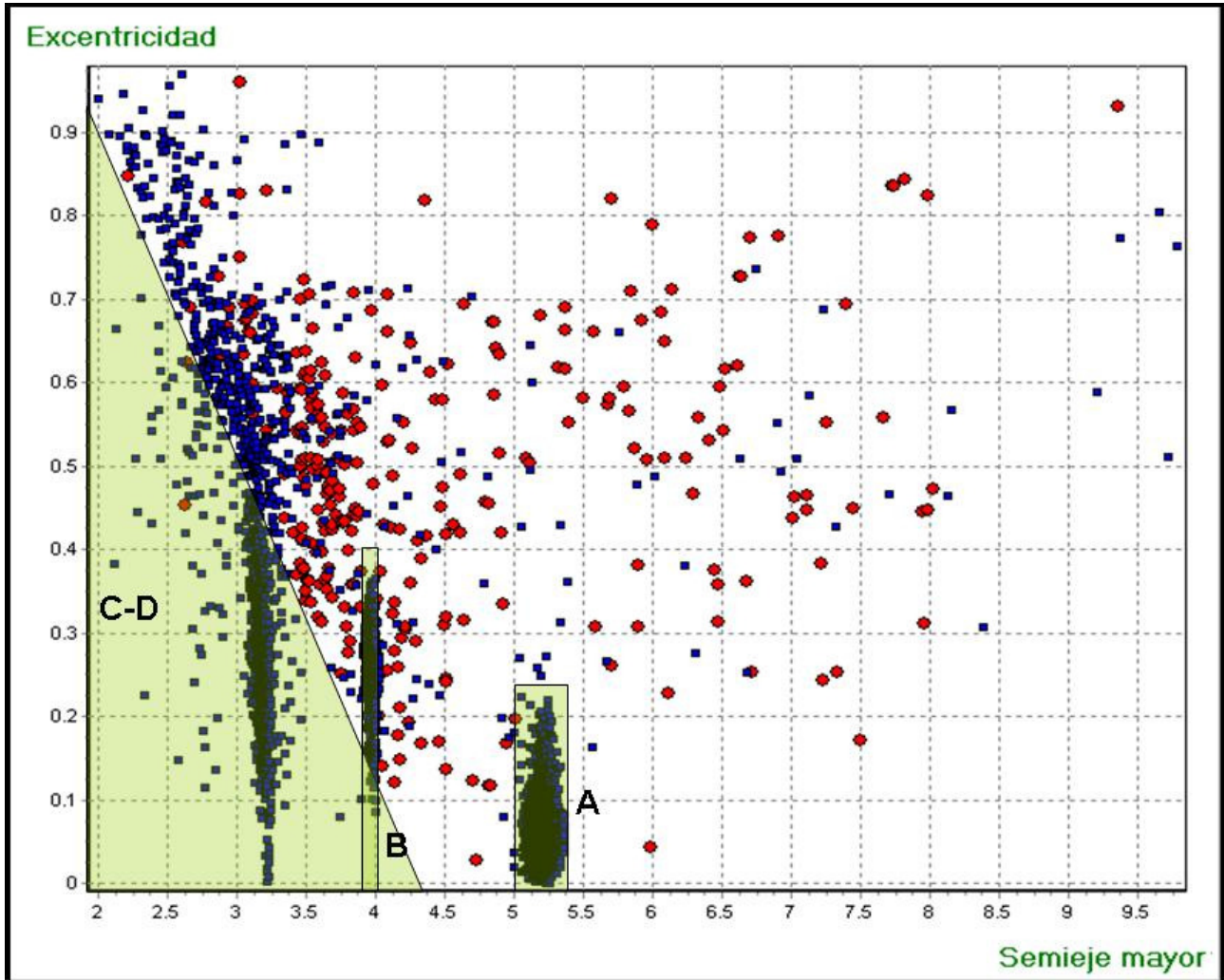


Figura 6. El análisis conjunto del semieje mayor y la excentricidad permite determinar con claridad las zonas de concentración de asteroides y escasez relativa de cometas. Esto nos permite concentrar los esfuerzos observacionales en aquellos asteroides situados en las áreas más favorables.

### Conclusión

Aplicando estos criterios de filtrado, la población de asteroides  $T_j \leq 3$  se reduce de 4.044 a 478. Por otra parte, no está de más aplicar este mismo filtrado a los cometas, con el objeto de estimar la pérdida de los que puedan estar situados en las zonas de exclusión: de un total de 362 quedarían 333. Así comprobamos que a cambio de una pérdida relativamente pequeña de posibles cometas, cumplimos el objetivo de concretar al máximo la población de asteroides que pueden presentar actividad.

### Parte II, la detección

Una vez seleccionados los mejores candidatos a cometas, encontramos una pequeña complicación: estos objetos suelen mostrarse muy débiles, con lo que la observación directa de la coma o cola exigidas por el MPC para acreditar su natu-

raleza es muy difícil. Necesitamos establecer un método de análisis de las imágenes que permitan encontrar indicios de una posible actividad y que justifiquen una observación más intensiva.

### Los indicios

Hemos considerado tres indicadores que nos permitan hacer valoraciones objetivas, de manera que si las consideramos lo suficientemente consistentes, nos pueden llevar a tomar la decisión de mejorar las condiciones o ampliar el tiempo de observación, con el objetivo de verificar la actividad en el asteroide que estamos observando.

### Análisis de magnitud

La sublimación de los componentes volátiles de un asteroide que en realidad tenga naturaleza cometaria puede producir un incremento sustancial de brillo. Esto es lo que ocurrió en el caso del asteroide 2006 WD4. Cuando Ernesto Guido y Giovanni Sostero detectaron actividad cometaria, tenía una magnitud aproximada de 14, mientras que según las efemérides del MPC debía estar alrededor de la 18 (figura 7).

### Análisis del FWHM

La luz procedente de una estrella, después de pasar por la atmósfera y el telescopio incide en el chip de la CCD donde forma una "huella" característica, con una distribución gaussiana bidimensional que se puede modelizar en una función denominada PSF (función de dispersión de un punto). El FWHM (anchura a la mitad del máximo) es una característica de esta función que entre otras cosas sirve para valorar los efectos de la atmósfera, la calidad del enfoque, del seguimiento del telescopio y las imperfecciones ópticas.

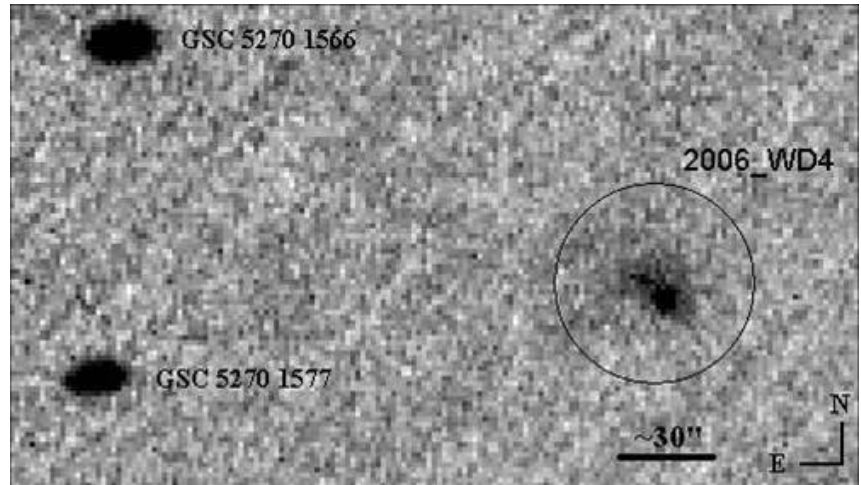


Figura 7. C/2006 WD4. Considerado inicialmente asteroide, descubierto el 20 de Noviembre de 2006 por el Mount Lemmon Survey (telescopio de 1.5 m, Arizona, USA), situado en órbita retrógrada de tipo cometario, ello estimuló el interés por detectar actividad. Finalmente su naturaleza cometaria fue confirmada en imágenes obtenidas el 30 de Abril, poco después del perihelio, por los observadores italianos Ernesto Guido y Giovanni Sostero.

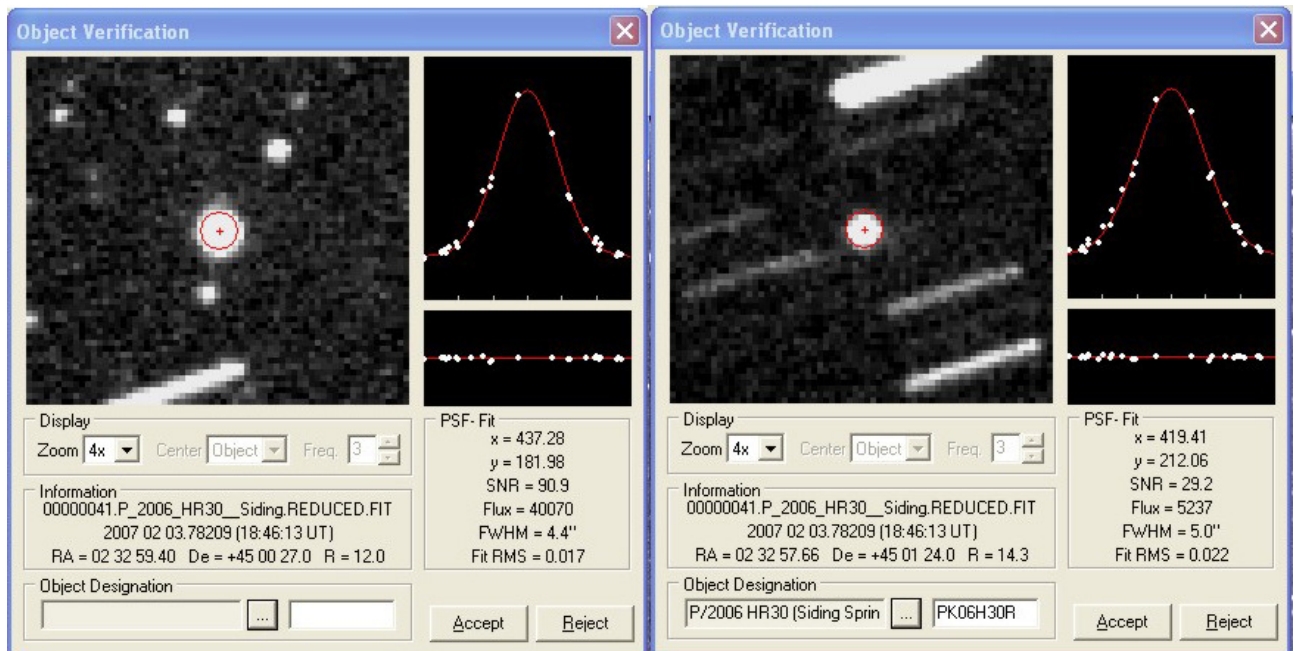


Figura 8. Una diferencia notable entre el FWHM del "cometable" y de las estrellas cercanas es un indicio de posible actividad.

En una imagen concreta, todos los objetos puntuales (asteroides, estrellas) tendrán la misma FWHM con independencia de su brillo, y únicamente los objetos difusos presentarán una FWHM mayor. Los sensores CCD permiten detectar esta diferencia de tamaño, aunque la apariencia del objeto siga siendo puntual. Por tanto, una diferencia significativa entre el FWHM de un asteroide y el de las estrellas de alrededor, será un claro indicio de que nos encontramos ante un posible

cometa. Para que el análisis sea más efectivo, debemos prestar la máxima atención a la calidad de la imagen, en especial al enfoque, el guiado y al tiempo de exposición, que debe ser el máximo que permita el desplazamiento propio del asteroide. Con el fin de que el error sea menor, es necesario que la RSR (relación señal ruido) sea la más alta posible. Para conseguirlo puede ser necesario recurrir a la suma de imágenes, que haremos dos veces: una con el desplazamiento adecuado para que la suma se realice sobre el asteroide, en la que mediremos su FWHM y otra sin desplazamiento para que el cálculo del FWHM de las estrellas de control se realice en las mismas condiciones (figura 8).

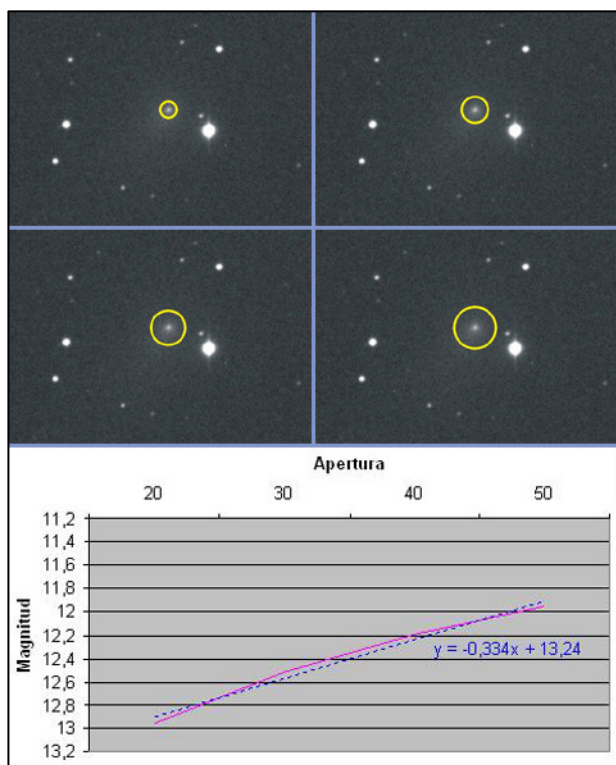


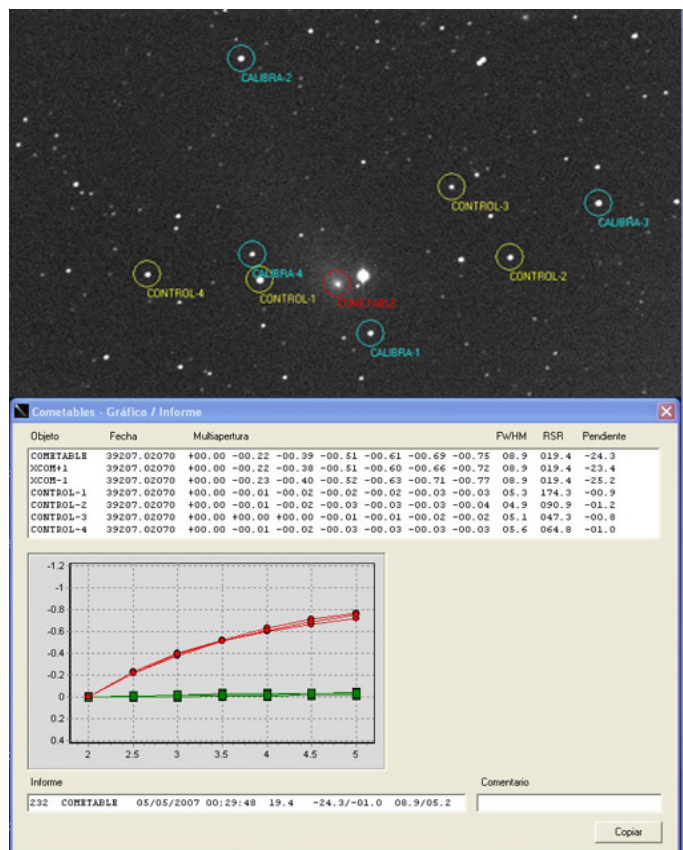
Figura 9. El análisis de la pendiente. Al medir con aperturas fotométricas de radio creciente, un cometa muestra un brillo cada vez mayor, mientras que en estrellas o asteroides no se observa incremento alguno.

### Análisis de la “pendiente”

Realizamos medidas de brillo empleando aperturas fotométricas de radio creciente. En el caso de estrellas o asteroides, estas medidas deben producir el mismo resultado, ya que toda la luz quedará concentrada en la más pequeña. En cambio, en un objeto extenso como un cometa, obtendremos medidas cada vez más brillantes ya que al aumentar la apertura abarcaremos porciones mayores del mismo. Por lo tanto, si en una gráfica magnitud/apertura ajustamos las medidas a una recta, obtendremos una horizontal si el objeto es un asteroide mientras que si se trata de un cometa con actividad la pendiente alcanzará cierto valor, que incluso podríamos relacionar con su grado de condensación (figura 9).

Nuestro método consiste en la realización de fotometría diferencial a partir de una primera apertura de 20”, llegando hasta los 50” en incrementos de 5”. Consideramos que una apertura menor de 20” no cubre del todo un objeto puntual, y con más de 50” aumentan las posibilidades de contaminación de las medidas por la presencia de estrellas y el ruido procedente del fondo de cielo. Recordemos que la mayoría de los asteroides analizados son muy débiles y debemos cuidar al máximo estos extremos con el fin de asegurar la mejor medida posible.

Para comprobar que la pendiente resultante, es debida a la existencia de una coma, y no a imágenes de mala calidad o mal calibradas, realizamos también la medida de la pendiente de una serie de estrellas de referencia, a ser posible de un brillo similar al del asteroide bajo estudio (figura 10).



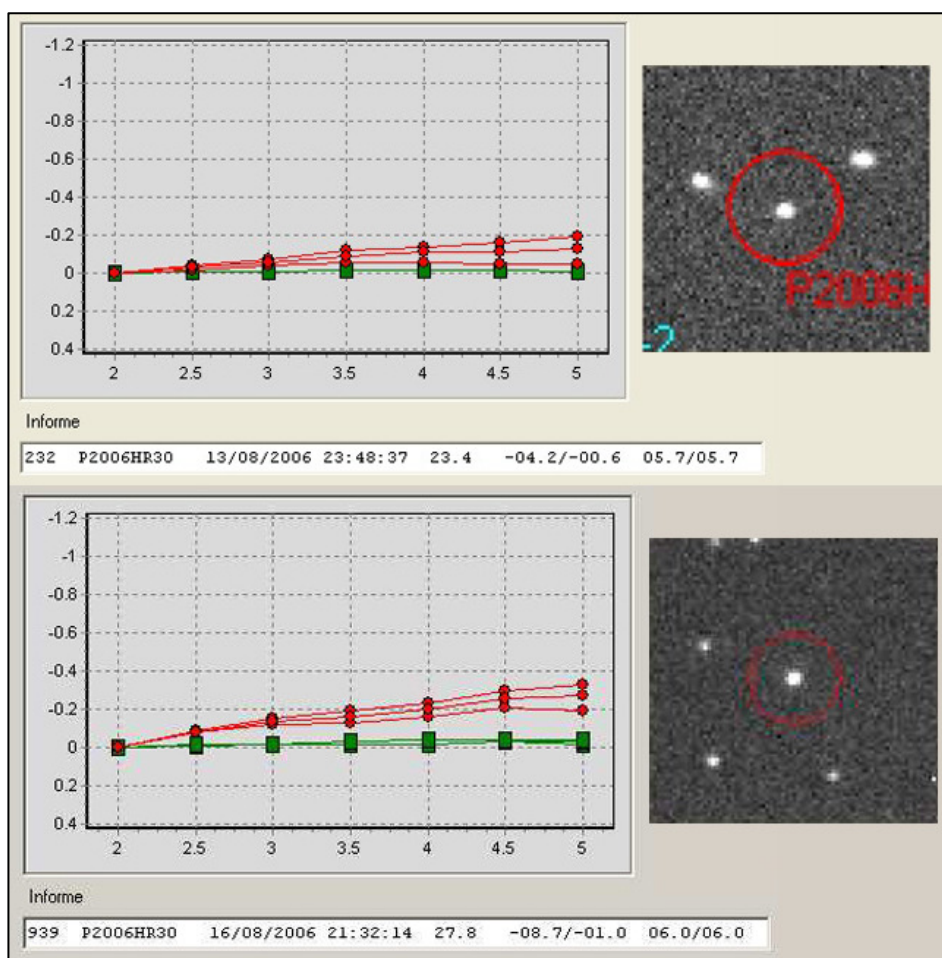
### Comportamiento del método (P/2006 HR30)

El 20 de Abril del 2006, Rob McNaught y Gordon Garrad, descubren un objeto que en principio es catalogado como asteroide. Sus parámetros orbitales indican claramente que debería tratarse de un cometa, aunque no se le aprecia coma. Muchos telescopios se vuelcan en el objeto con el fin de detectar actividad cometaria, finalmente el 29 de Julio de 2006, con el telescopio NTT de 3,5 metros en el observatorio de “la Silla”, se le detecta un coma de 5,5 segundos de arco. El mismo día, desde el observatorio de “La Cañada” y con un telescopio de 0,3 metros, Juan Lacruz observó un incremento del 40% en el FWHM del todavía asteroide 2006 HR30, aunque sus imágenes mostraban un aspecto completamente puntual. Para confirmar la detección, el 3 de agosto se observó con el telescopio Hale, de Monte Palomar, con el que se midió una coma de 10”.

Figura 10. El informe generado por nuestro programa de análisis nos provee de los datos suficientes para poder tomar una decisión sobre la conveniencia de insistir en la observación del objeto. De izquierda a derecha: Observatorio, designación cometable, fecha, hora, RSR, pendiente cometable/pendiente estrellas de control, fwhm cometable/fwhm estrellasde control, comentarios.

A pesar de su brillo (magnitud 15.5), el cometa presentaba en nuestras imágenes un aspecto totalmente puntual, de manera que podía servir para poner a prueba nuestro sistema de búsqueda de actividad cometaria de baja intensidad. En observaciones realizadas el 13 de agosto de 2006 por el observatorio 232 se aprecia una ligera pendiente, lo que podría indicar la existencia de actividad cometaria, que sin embargo, no se distingue en las imágenes. El día 16, desde el observatorio 939 se observa que la pendiente se ha doblado con respecto al día 13, mientras que la apariencia sigue siendo asteroidal (figura 11).

Vemos que tanto en las observaciones del día 13 como en las del día 16, la diferencia del FWHM encontrada por los dos observatorios es nula, mientras que el estudio de la pendiente sí ha revelado una posible actividad. Esto señala la importancia de abordar este trabajo empleando técnicas diferentes que analicen aspectos distintos pero complementarios. Animados por el resultado, decidimos “hacer lo necesario” para comprobarlo. Tras casi dos horas de integración, por fin, el cometa P/2006 HR30 (Siding Spring), mostró su cola (figura 1).



## Conclusión

Recordemos que el MPC exige, para acreditar la naturaleza cometaria de un objeto, la observación directa de su actividad, es decir, la presencia de cola o coma en las imágenes. Por otra parte, el bajo brillo que en general tienen los asteroides bajo estudio y nuestras condiciones de observación, dificultan esa comprobación. Sin embargo, creemos que es posible detectar esa actividad mediante el estudio de los tres indicadores antes expuestos. Cuando alguno de ellos señale de manera clara la presencia de actividad cometaria es necesario mejorar las condiciones de observación: aumentando el tiempo de integración, empleando más resolución, observando con equipos más potentes y buscando lugares con mejores condiciones lumínicas y atmosféricas.

**Figura 11.** P/2006 HR30. Este cometa presentaba un aspecto puntual en nuestras imágenes, por eso lo utilizamos como banco de prueba de nuestro método. La imagen muestra como el análisis de pendiente revela, en dos noches distintas, la presencia de actividad cometaria que no se podía observar mediante el examen directo de las imágenes.

**Grupo Cometales:** Josep Maria Aymami, Julio Castellano, Ramón Naves, Sensi Pastor, Esteban Reina, Diego Rodríguez, José Antonio de los Reyes, Josep Lluís Salto.

Contacto: estrei@telefonica.net - orodeno2@yahoo.es