

Búsqueda de Asteroides con actividad cometaria. Cometas Durmientes.

Autores

Dr. **Miquel Serra-Ricart**. Astrónomo del Instituto de Astrofísica de Canarias.1 – **Objetivos de la actividad**

El objetivo principal de la actividad es la búsqueda de asteroides con actividad cometaria en el cinturón principal a partir de imágenes digitales tomadas en telescopios nocturnos de GLORIA (users.gloria-project.eu). Con la actividad los alumnos aprenderán a:

- Aplicar una metodología para el cálculo de un parámetro astrofísico (PSF *Point Spread Function* o Función de Dispersión de Punto) a partir de un observable (imágenes digitales) como técnica de aplicaciones pedagógicas, documentales e investigadoras.
- Calcular la PSF del asteroide a partir las imágenes obtenidas con un Telescopio.
- Preparar y planificar la operativa de la observación: efemérides del asteroide, utilización de herramientas informáticas para su análisis.
- Trabajar cooperativamente en equipo, valorando las aportaciones individuales y manifestando actitudes democráticas.

2 – Instrumentación

La práctica o actividad se realizará a partir de imágenes digitales obtenidas mediante el TAD nocturno (Telescopio Abierto de Divulgación, <http://www.ot-tad.com>) o cualquiera de

los telescopios nocturnos de GLORIA (<http://users.gloria-project.eu>).

También será necesario un ordenador con conexión a Internet, así como software de cartografía celeste, el programa astrometrica (astrometrica.at) para la reducción y cálculo de la astrometría y algún software para el análisis de las imágenes como MaximDL (cyanogen.com) o FotoDif (<http://www.astrosurf.com/orodeno/fotodif/>)

3 – Asteroides y Cometas

3.1. – Asteroides

Los asteroides (del griego, “parecido a una estrella”) son objetos rocosos y metálicos que orbitan alrededor del Sol pero que no cumplen los requisitos para ser planetas. Su aspecto vistos al telescopio es puntual, como las estrellas.

Los tamaños de los asteroides varían desde el de Ceres, el mayor y considerado un Planeta enano, que tiene un diámetro de unos 1.000 Km, hasta la dimensión de un guijarro. Dieciséis asteroides tienen un diámetro igual o superior a 240 Km. y hay 700 que miden más de 50 Km.

Se han encontrado asteroides desde el interior de la órbita de la Tierra hasta más allá de la órbita de Saturno. La mayoría (el 95% de los conocidos), sin embargo, están contenidos dentro del cinturón principal o cinturón de asteroides que se sitúa entre las órbitas de Marte y Júpiter. Algunos de ellos tienen órbitas que atraviesan la trayectoria de la Tierra, los denominados NEAs (ver Actividad Educativa “Cálculo de las órbitas de asteroides tipo NEA”, ver figura 1). Los asteroides están constituidos por el material residual de la formación del Sistema Solar. La mayoría de asteroides son planetesimales que no llegaron nunca a aglutinarse para formar un planeta.

Algunos de los conocimientos sobre los asteroides proceden del

estudio de los trozos de residuos espaciales (meteoritos) que caen sobre la superficie de la Tierra. De los meteoritos examinados, el 9,6% está compuesto por silicatos (mineral principal presente en las rocas ígneas), el 7% está compuesto por hierro y níquel y el resto es una mezcla de los tres materiales. Los meteoritos rocosos son los más difíciles de identificar ya que se parecen mucho a las rocas terrestres.

El interés por el estudio de los asteroides y su composición proviene del hecho de que los asteroides son objetos procedentes de una época muy temprana del sistema solar y han sido poco alterados desde entonces.

Las familias de asteroides

Desde hace más de un siglo se conoce que las órbitas de los asteroides se distribuyen al azar en una amplia zona situada entre las órbitas de Marte y Júpiter (Cinturón Principal o sus siglas en inglés MB, *Main Belt*). En 1918 el astrónomo japonés Hirayama indicó que si además se tienen en cuenta otros parámetros orbitales como la excentricidad y la inclinación, es decir, se analiza la distribución espacial de las órbitas, se encuentran regiones especialmente pobladas a las que denominó familias. De esta manera es probable que los miembros de una misma familia tengan un origen común. Los nombres de las familias (o grupos) provienen de su principal asteroide (por ejemplo Ceres, Koronis, Eos o Themis).

3.1. – Cometas

Los cometas son pequeños cuerpos de formas irregulares, compuestos por una mezcla de granos no volátiles y gases helados. Tienen órbitas muy elípticas que los pueden llevar muy cerca del Sol (incluso al impacto) y los tornan al espacio profundo, frecuentemente más allá de la órbita de Plutón.

Cuando se encuentran lejos del Sol (la mayor parte de su vida) los cometas son objetos sólidos congelados, generalmente de menos de 10 Km. de diámetro. Su aspecto es muy similar al de

los asteroides, excepto que están formados por hielos y no por rocas. Al acercarse al Sol, el calor solar empieza a vaporizar sus capas externas, convirtiéndolos en astros muy dinámicos. Las estructuras de los cometas son diversas y cambiantes, pero todos ellos poseen unas zonas comunes diferenciadas (ver figura 2). No cabe duda que la parte más importante de un cometa es su núcleo. La corteza oscura del núcleo ayuda al cometa a absorber calor, el cual causa que algunos hielos de debajo de la superficie se conviertan en gas. Con el aumento de la presión por debajo de la corteza, la superficie comienza a flexionarse en diferentes zonas. Llega un momento en que las áreas más blandas de la corteza ceden y el gas es lanzado hacia afuera como si fuera un géiser. Este fenómeno es denominado chorro o jet. Junto con el gas también se arrastra polvo, que se encuentra mezclado con el hielo y los gases. A medida que aparecen chorros, se forma una envoltura de gas y polvo alrededor del núcleo que se llama coma.

Sin lugar a dudas una de las mejores instantáneas del núcleo de un cometa es la proporcionada por la sonda europea Rosetta en su acercamiento al cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko (ver figura 3) durante el mes de septiembre de 2014. La composición de los cometas, tal como se ha descrito más arriba, hace pensar a los astrónomos que estos cuerpos son representantes del material original a partir del cual se formó el sistema solar. Por consiguiente son de un considerable interés científico por la información que pueden proporcionar sobre la primitiva historia de nuestro sistema solar.

3.1. – Cometas del Cinturón Principal (MBC, Main Belt Comet).

El descubrimiento de 133P/(7968) Elst-Pizarro marcó un antes y un después en la frontera que separa asteroides y cometas.

El 14 de julio de 1996 Eric Walter Elst y Guido Pizarro descubrieron un Cometa desde el Observatorio de La Silla, en La Serena, Chile (ver figura 4). Sin embargo, el análisis de su órbita determinó que ya había sido observado previamente en

1979, considerado como asteroide y designado provisionalmente como 1979 OW7, en placas tomadas ese año por Schelte John Bus y en 1985 por Robert H. McNaught desde el Observatorio de Siding Spring en Australia. Al ser informado su descubrimiento como cometa, y de acuerdo a la costumbre de denominación de estos objetos, recibió el nombre de sus descubridores. Al ser reclasificado como asteroide mantuvo su nombre a pesar de que en el caso de los asteroides, al contrario de lo que sucede con los cometas, raramente reciben el nombre de sus descubridores.

En un primer momento tras su descubrimiento en 1996, la actividad cometaria fue achacada a un impacto que el asteroide hubiese recibido recientemente y que habría emitido al espacio polvo proveniente de él. Esta hipótesis fue abandonada cuando el mismo fenómeno fue observado entre agosto y diciembre de 2002 (ver figura 5). Una vez aceptado que 133P/(7968) Elst-Pizarro presentaba actividad cometaria dos eran las hipótesis de trabajo sobre su origen:

- 1) Era un cometa clásico con origen trans-neptuniano que había evolucionado hacia el Cinturón Principal.
- 2) Era un asteroide con hielos por debajo de su superficie que por algún mecanismo se habían quedado expuestos a la radiación solar.

Hasta el momento se han descubierto un total de 11 asteroides con actividad (7 MBCs y 4 asteroides fragmentados). A continuación detallamos las principales características de cada uno de ellos.

MBCs	Inclin.	Perihelion	Aphelion	
133P/(7968) Elst-Pizarro (1996)	1.386°	2.636 AU	3.677 AU	Orbit
238P/Read (2010)	1.267°	2.365 AU	3.965 AU	Orbit
176P/(118401) LINEAR (1999)	0.238°	2.581 AU	3.811 AU	Orbit

P/2008 R1 (Garradd) (2008)		15.903°	1.793 AU	3.660 AU	Orbit
P/2010 R2 (La Sagra) (2010)		21.395°	2.623 AU	3.576 AU	Orbit
300163 (2006 VW ₁₃₉) (2006)		3.239°	2.438 AU	3.665 AU	Orbit
P/2012 T1 (PANSTARRS) (2012)		11.059°	2.410 AU	3.897 AU	Orbit
Asteroides fragmentados	Inclin.	Perihelion	Aphelion		
P/2010 A2 (LINEAR) (2010)	5.255°	2.006 AU	2.576 AU	Orbit	
(596) Scheila (1906)	14.662°	2.443 AU	3.410 AU	Orbit	
P/2012 F5 (Gibbs) (2012)	14.662°	2.443 AU	3.410 AU	Orbit	
P/2013 R3 (2013)	0.898°	2.203 AU	3.862 AU	Orbit	

La probabilidad de que siete objetos respondieran a la hipótesis 1 (evolución de un cometa al Cinturón Principal de Asteroides) era prácticamente imposible. Hoy en día la hipótesis aceptada en la comunidad de astrónomos es que la actividad cometaria de los MBCs se debe a la sublimación de hielos que se encuentran por debajo de la superficie de los asteroides que quedan expuestos al calor solar como consecuencia de impactos de otros asteroides.

Además, en los últimos años se ha detectado agua en grandes asteroides del cinturón principal como:

1) Medidas de vapor de agua en jets vistos en la superficie de Ceres (**ref1**).

2) Familia de Themis origen de algunos MBC y Themis, el mayor miembro de la familia asteroidal, ha mostrado trazas de vapor

de agua en su superficie (**ref2**).

Estas detecciones confirman la existencia de agua en el Cinturón Principal de Asteroides.

4- Metodología

4.1.- Astrometría

La astrometría es la rama de la astronomía cuya finalidad consiste en determinar la posición de un astro en el cielo.

La astrometría aplicada a la observación de cometas y asteroides permite conocer la posición exacta de estos en un momento determinado a partir de sus parámetros orbitales.

Actualmente el Minor Planet Center (organismo dependiente de la IAU, Unión Astronómica Internacional) es el centro encargado de recoger la astrometría que envían los observatorios astronómicos reconocidos (observatorios con código MPC) para poder determinar o actualizar las órbitas de los distintos objetos menores que orbitan en el sistema solar, ya sean cometas o asteroides. El MPC exige medidas astrométricas con una precisión por debajo del segundo de arco de error.

4.2.- Preparación Observaciones

1) Selección. Aunque la actividad cometaria podría aparecer en cualquier asteroide nuestra recomendación es buscar asteroides contenidos en algunos de los siguientes grupos:

- 1) Familias de Themis, Koronis, y Veritas.
- 2) Asteroides con baja inclinación y situados en el exterior del cinturón de asteroides.
- 3) MBCs conocidos.

A la hora de planificar la captura de un asteroide se debe tener en cuenta el movimiento aparente del mismo sobre el fondo de estrellas. Si no es posible seguir al

asteroide (telescopio solo permite movimiento sidéreo), estamos limitados en el tiempo de exposición y/o de tomas del asteroide que podamos realizar.

2) Posición. Una vez seleccionado el asteroide, es necesario conocer su posición. El Minor Planet Center, en su sección de efemérides, ofrece la astrometría de los cuerpos menores identificados hasta la actualidad (<http://www.minorplanetcenter.net/iau/MPEph/MPEph.html>).

3) Verificación. Es imprescindible asegurarse de que hemos sido capaces de capturar el asteroide a medir (magnitud límite alcanzada), y de que somos capaces de advertir su movimiento respecto a las estrellas de fondo, para lo cual se necesitarán varias tomas consecutivas (al menos dos).

Necesitaremos que la toma de la zona del cielo que contenga el asteroide a medir cuente con el mayor número de estrellas posible, ya que la astrometría del asteroide se calcula a partir de las estrellas de referencia que aparecen en el campo del asteroide captado. Además, debemos saber en qué momento exacto se realizó la toma (este dato ya se encuentra contenido en la cabecera del archivo de imagen FITS).

4.3.- Astrometría de Asteroides

Para la búsqueda y localización del asteroide se debe disponer de un software tipo planetario como el freeware Cartes du Ciel (www.ap-i.net/skychart/start) u otros comerciales (The Sky, Starry Night, Guide). Es necesario confirmar la localización del asteroide mediante imágenes sucesivas (como se ha indicado anteriormente) para detectar su movimiento entre las estrellas.

Además del programa de cartas celestes que se utilice, se necesita disponer de un software para efectuar la astrometría. Uno de los mejores y que permite enviar informes con el estándar MPC es Astrometrica (<http://www.astrometrica.at>).

También es necesario el uso de algún Catálogo estelar, preferentemente el UCAC2 o el USNO A2. Si no se dispone de esos catálogos, pero se cuenta con conexión a Internet, el programa Astrometrica descarga automáticamente la sección del catálogo USNO B1 que se necesite.

El objetivo es que la precisión en las mediciones sea $<1''$ de arco, que es lo que exige el MPC para asignar a un emplazamiento fijo un código de observatorio.

Para comenzar en astrometría es aconsejable empezar a practicar con los asteroides numerados, ya que resulta fácil poder corroborar la precisión de las mediciones realizadas con sus elementos orbitales.

El funcionamiento de astrometrica consta de varios pasos:

1) Configuración parámetros. Una vez instalado el programa, hay que configurar los parámetros del mismo (véase el documento <http://www.astrometrica.at/Papers/Astrometrica-Settings.pdf> para configurar adecuadamente los valores). Esto se hace seleccionando *Settings* en el menú File, o mediante el icono correspondiente bajo la barra de menús. Se abrirá una ventana con varias pestañas (figura 2): *Observing Site*. Consignar los datos del observatorio. MPC es el código que asigna el Minor Planet Center a los observatorios, si no se tiene ninguno, dejar XXX. El apartado *Details* es para el envío del informe, se puede dejar en principio en blanco. Para el TAD el código MPC es 954 que corresponde al del Observatorio del Teide.

CCD. Ingresar los datos técnicos del TAD (véase manual). *Position Angle* es el ángulo de rotación de la imagen. Si es 0 indica que el norte está arriba y el este a la izquierda. *Pointing* es el margen de error del apuntado. *Flip Horizontal* y *Flip Vertical* sirve para voltear la imagen horizontal y verticalmente, respectivamente (debe de estar conforme a la configuración óptica del telescopio).

Program. Aquí se encuentran los catálogos estelares (Star Catalog) para la comparación, así como los diferentes parámetros utilizados para la detección del asteroide, que deben ser variados si el asteroide no se detecta. Es aconsejable utilizar el catálogo USNO-B 1.0, que incluye objetos hasta la magnitud 21.

Environment. Ruta de los diferentes archivos y códigos de color asignados a los objetos. *Catalogs.* Ruta de los catálogos estelares descargados.

Internet. Parámetros para el acceso a los archivos del MPC y configuración del correo electrónico.

2) Descargar el archivo MPCOrb. Al instalar Astrometrica hay que bajar el archivo MPCOrb (desde el menú Internet, *Download MPCOrb*), que contiene los elementos orbitales del MPC (Minor Planet Center). El archivo MPCOrb.dat debe ser actualizado regularmente (menú Internet, *Update MPCOrb*).

3) Detectar y confirmar el asteroide. Para ello se abrirán varias imágenes (al menos dos), separadas un determinado tiempo (que depende de la velocidad aparente del asteroide en el cielo). Para abrir imágenes se accederá al menú *File->Load Images* o mediante el icono correspondiente de la barra de iconos. Una vez cargadas las imágenes se accede a *Tools->Blink Images*. El programa alineará las estrellas de las imágenes (inmóviles), mostrándose el movimiento o "salto" del asteroide (figura 3). **4) Abrir la imagen.** Se carga la imagen (formato FITS) que contiene el asteroide. Se pueden utilizar imágenes de calibración (darks y flats). En el ejemplo, se trata del asteroide 243 Ida (Figura 4). El programa lee los datos de fecha y hora de la toma, los cuales se han de confirmar (OK).

5) Reducción astrométrica. El programa utiliza en este caso el catálogo USNO B1, que consulta a través de Internet. Para ello se accede a la opción *Data Reduction* del menú *Astrometry* o mediante el icono correspondiente de la barra de iconos.

Aparece una ventana con la lectura para introducir las coordenadas aproximadas de la imagen o el nombre del objeto (Figura 5). Como se trata en este caso del asteroide 243 Ida se utiliza el botón de la derecha de la ventana *Object*, que da acceso al archivo *MPCOrb*. Para ello en la ventana de búsqueda introduciremos el nombre del asteroide (Ida) (Figura 6). Si la configuración de Astrometrica ha sido correcta, aparecerá en la imagen estrellas con círculos verdes, que corresponden a las estrellas detectadas y cuya posición en la imagen coincide con la que debería tener en el catálogo USNO B1. Las estrellas con círculos amarillos son estrellas no detectadas, generalmente ruido en la imagen.

En la parte inferior de la imagen se despliega una ventana con los resultados de la reducción, llamado *Data Reduction Results*, con la siguiente información (Figura 7):— *Image*: Nombre del archivo de imagen. —*Detections*: Número de estrellas detectadas. —*Ref. Stars*: Estrellas que Astrometrica va a utilizar como estrellas de referencia. —*Ref/ Ast*: Estrellas seleccionadas para el cálculo astrométrico (se puede cambiar el criterio en *Settings*). Astrometrica descarta por defecto como estrellas de referencia aquellas cuyos residuales sean superiores a 1". Asimismo, Astrometrica necesita como mínimo detectar 6 de estas estrellas para poder realizar la reducción. —*dRA* y *dBE*: Valores residuales de las estrellas en Ascensión Recta (AR) y Declinación (DEC) respectivamente. Es el promedio de los valores absolutos de las diferencias entre las posiciones del catálogo y las medidas. Es un buen indicio de la precisión obtenida en la imagen. —*Ref/Phot*: Estrellas tomadas como referencia por el programa para calcular la fotometría.

— *dMag.*: Diferencia en magnitud de las estrellas medidas y el catálogo de referencia.

En la barra inferior de la ventana del programa se puede observar que el programa no solo lee la posición (x, y) así como la distancia del píxel del cursor, sino que también

calcula la posición en AR, DEC y la magnitud.

6) Posicionar el asteroide. Hay que indicar que objeto es el asteroide que se está estudiando. Para ello se clica sobre él (puede ser de utilidad utilizar la herramienta lupa) (Figura 8). Aparece un cuadro que muestra el objeto seleccionado ampliado. En *Information* se muestra el nombre del archivo, fecha y hora de la imagen, posición medida y magnitud estimada. A la derecha aparece el análisis del perfil del objeto a través de la función *Point Spread Function* o PSF (Función del perfil de un punto, normalmente una gaussiana) cuyo parámetro principal es la FWHM (Full Width at Half Maximum, Anchura a Altura Mitad) que es el ancho de la función donde el flujo o luminosidad (que se mide en cuentas o ADU/píxel) toma la mitad del valor máximo (véase Unidad Didáctica Webcam y CCD). En términos astronómicos la FWHM (que aparece medida en segundos de arco) se conoce como *seeing* y es una medida de la calidad de la observación (menor FWHM mejor). Este parámetro será muy importante para realizar una medida cuantitativa de la posible actividad cometaria del asteroide (ver siguiente apartado).

Es importante verificar siempre la SNR (relación señal-ruido SNR: Signal to Noise Ratio) del asteroide, debiendo descartarse las imágenes en las que el objeto a medir tenga una SNR muy baja. Se recomienda no enviar medidas al MPC si la $SNR < 7$.

Herramienta Track & Stack. Esta función de Astrometrica resulta interesante, ya que efectúa una reducción de una serie de imágenes de un cometa o un asteroide, y luego realiza el apilado de todas las imágenes sobre el objeto en cuestión (Figura 12). A diferencia de otros programas donde se les debe marcar en cada imagen cual es el objeto, Astrometrica solo requiere que se le indique cuál es el asteroide, y de la base de datos determina su velocidad y ángulo de posición. Esto tiene una gran utilidad ya que permite que objetos que no aparecen en una toma individual debido a que son demasiado

débiles (indistinguibles del ruido de la imagen), después de realizar la suma de imágenes, aparezcan y/o mejore su SNR lo suficiente para poder ser medidos con precisión.

Para utilizar esta función se accede en la barra de herramientas el menú *Astrometry, Track & Stack* o el icono correspondiente de la barra de iconos.

4.4.- Detección actividad cometaria en Asteroides

Una vez identificado el asteroide en las imágenes el mejor método para detectar posible actividad cometaria es visualmente. Debemos buscar estructuras alrededor del núcleo del asteroide indicativos de la presencia de jets o chorros.

También es posible identificar actividad con métodos cuantitativos. Una posibilidad es comparar el perfil de luminosidad del asteroide (FWHM) con el de las estrellas (por ejemplo con la utilidad de información del software *astrometrica*). Si la FWHM del asteroide es mayor que el medido en las estrellas de campo puede ser un indicativo de actividad cometaria.

- Resultados -

-Agua y vida en la Tierra-

Varias son las hipótesis del origen del agua (Océanos) de nuestro Planeta. Entre ellas encontramos la colisión de Cometas con la Tierra en edades tempranas de nuestro sistema Solar. El descubrimiento de agua en el interior de los Asteroides refuerza la hipótesis de un origen colisional, abriendo la posibilidad de que parte del agua de la corteza terrestre sea de origen asteroidal.

Hoy en día solo conocemos **10 asteroides con actividad**. Es muy importante aumentar la muestra para:

- 1) Conocer su proporción respecto a Asteroides sin actividad cometaria.
- 2) Determinar su distribución en el Cinturón Principal de Asteroides.

Nuestra propuesta en la actividad es doble:

- 1) Descubrimiento de nuevos MBC.** Es necesario conocer tanto la proporción como la distribución de MBCs en el Cinturón Principal.
- 2) Seguimiento de MBC conocidos.** Es importante realizar un seguimiento de los MBCs conocidos, para detectar cualquier estallido de actividad.

El centro encargado de la gestión de los datos de asteroides y cometas procedentes de las observaciones es el MPC -Minor Planet Center minorplanetcenter.net – (organismo dependiente de la IAU, Unión Astronómica Internacional).

5 – Referencias

ref1 – K^uppers, M., O'Rourke, L., Bockelee-Morvan, D., et al. 2014. Localized sources of water vapor on the dwarf planet (1) Ceres. Nature. 505, 525-527.

ref2 – Campins, H., Hargrove, K., Pinilla-Alonso, N., et al. 2010. Water ice and organics on the surface of the asteroid 24 Themis. Nature. 464, 1320-1321.

ref1 – Unidad Didáctica Observaciones Astronómicas con Webcam y CCD: <http://www.astroaula.com/mat/unidades/unicam.pdf>

ref2 – Minor Planet Center: <http://www.cfa.harvard.edu/iau/MPEph/MPEph.html>

ref3 – Generador de Efemérides asteroides:
http://www.minorplanet.info/PHP/call_OppLCDBQuery.php

ref4 – Efemérides Horizons del

JPL: <http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>

ref5 – Proyecto NEOs de NASA <http://http://neo.jpl.nasa.gov/>