

# Rotación asteroides

## Cálculo de rotación de asteroides

**Por**

Sr. **Juan Carlos Casado**. Astrofotógrafo [tierrayestrellas.com](http://tierrayestrellas.com), Barcelona.

Dr. **Miquel Serra-Ricart**. Astrónomo Instituto de Astrofísica de Canarias, Tenerife.



### 1 – Objetivos de la actividad

- Aplicar una metodología para el cálculo de un parámetro astrofísico (curva de luz de asteroides) a partir de un observable (imágenes digitales) como técnica de aplicaciones pedagógicas, documentales e investigadoras.
- Deducir el periodo de rotación del asteroide a partir de su curva de luz.
- Preparar y planificar la operativa de la observación: efemérides del asteroide, utilización de herramientas informáticas para su localización y observación.
- 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 acceso a los Telescopios Robóticos Nocturnos de GLORIA ([users.gloria-project.eu](http://users.gloria-project.eu)) y un ordenador portátil con algún software de reducción y análisis de imágenes (ver Unidad Didáctica

Observaciones Astronómicas con Webcam y CCD en [www.astroaula.net](http://www.astroaula.net)).

También es muy conveniente disponer de algún programa para el tratamiento de los datos (por ejemplo, Excel).

**3 – Asteroides** Los asteroides son objetos rocosos y metálicos que orbitan alrededor del Sol pero no son Planetas por dos motivos:

- 1) No tienen forma esférica.
- 2) No han limpiado su órbita de otros objetos.

El aspecto de los asteroides vistos al telescopio es puntual, como las estrellas. Los asteroides son cuerpos irregulares con distintas reflectividades en superficie que presentan diferentes estados de rotación. Observados con telescopios presentan variaciones de luminosidad que permiten estimar su periodo de rotación así como otros datos adicionales (extendiendo las observaciones durante el periodo de traslación del asteroide alrededor del Sol), como su apariencia tridimensional (ver fig. 1) y la posible existencia de sistemas binarios.

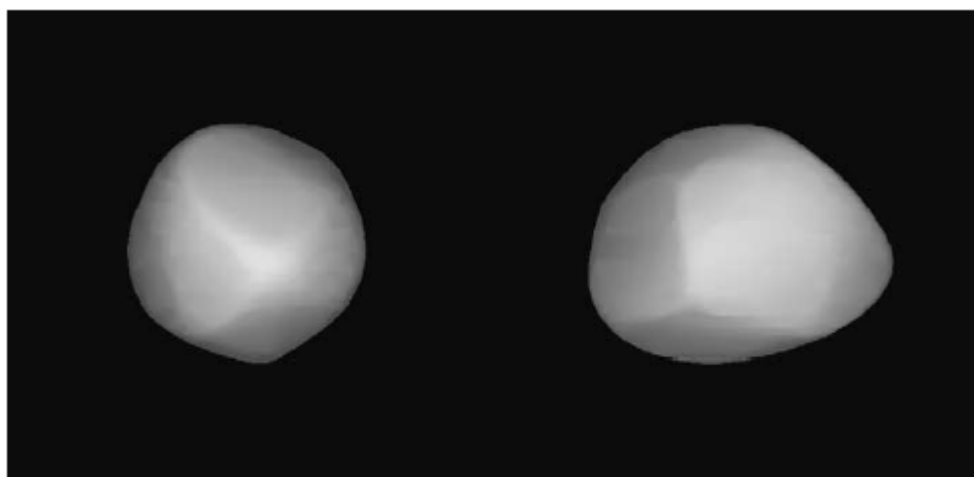


Figura 1. Modelo tridimensional (dos ejes perpendiculares entre sí) del asteroide 129 Antigone elaborado a partir de diferentes curvas fotométricas. Torppa et al. / Icarus 164 (2003).

Los tamaños de los asteroides varían desde el de Ceres, el

mayor y que ya se considera 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.

Sin embargo la mayoría (el 95 % de los conocidos) 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, son los conocidos como NEA (“Near Earth Asteroids” u “asteroides cercanos a la Tierra”). Los asteroides que se aproximan a la Tierra pertenecen al grupo Aten-Apollo-Amor (AAA) (Figura 2). Suelen dividirse en Earth-Crossers (“cruzadores terrestres”), que comprenden aproximadamente el 5% del total de asteroides conocidos, y en Mars- Crossers (“cruzadores marcianos”), estimándose que su número hasta la magnitud 18 debe ser de unos 20.000 (con diámetros entre 0,9 y 1,7 km).

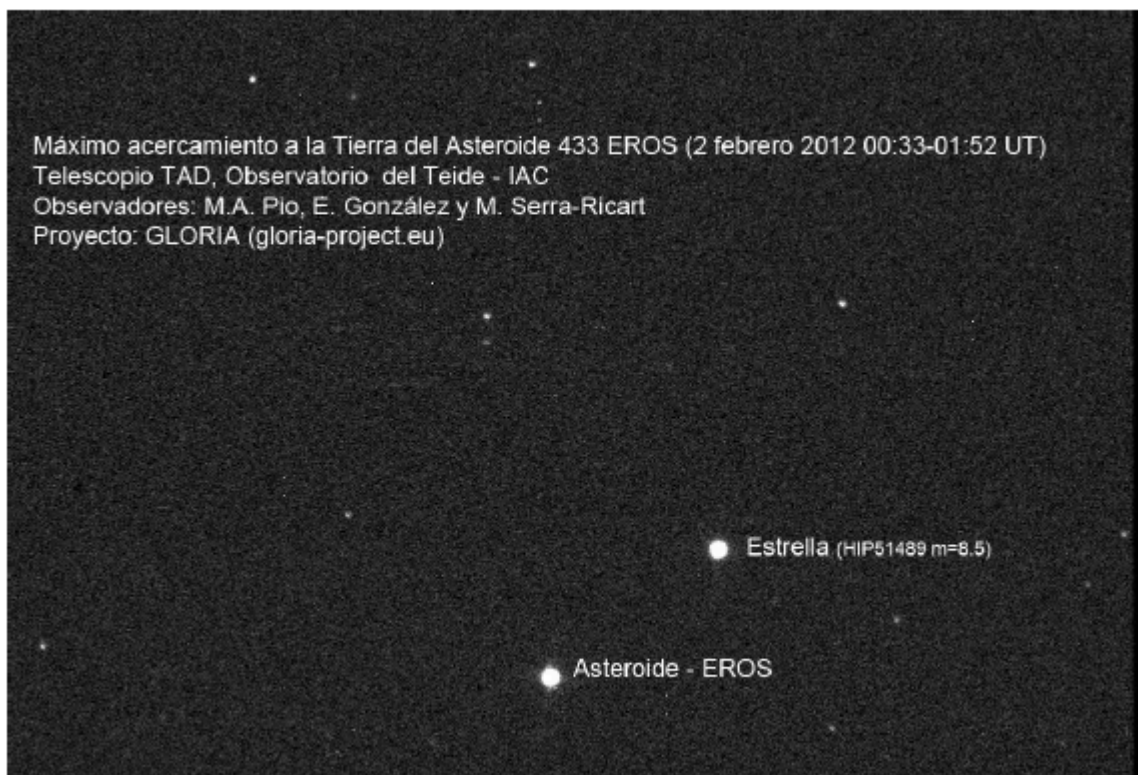


Figura 2. Imagen del asteroide Eros obtenida el 2 de Febrero

de 2012 con el TAD. Perteneciente al grupo Amor, ésta ha sido la mayor aproximación de Eros desde 1975, acercándose a un mínimo de 27 millones de km. de la Tierra el día en que se obtuvo la imagen.

Los asteroides NEAs, a su vez, se clasifican como Earth-Grazers (EGA) y Earth-Crossers (ECA), es decir, “rozadores terrestres” y “cruzadores terrestres”.

Como estos nombres indican, los AAA pueden acercarse mucho a la Tierra y se supone que, junto con los cometas, son los responsables de los impactos meteoríticos producidos en nuestro planeta y en la Luna durante los últimos miles de millones de años. Los periodos de rotación de muchos asteroides no se encuentran bien definidos debido a la escasez de observaciones adecuadas.

Además, de forma análoga a lo que ocurre con sus órbitas, las fuerzas gravitatorias de los planetas cercanos a los asteroides pueden alterar sus periodos de rotación, por lo cual es preciso realizar mediciones periódicamente y comparar los resultados con los valores obtenidos por otros autores en otras épocas.

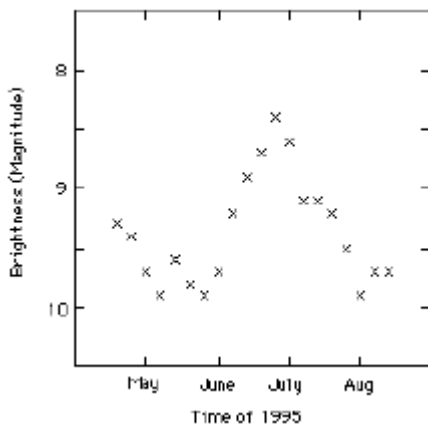
## **4- Metodología**

### **4.1.- Curvas de luz**

En Astronomía se denomina curva de luz a una representación bidimensional (ejes cartesianos X-Y) de la luminosidad o brillo de un objeto (eje Y) frente a una escala de tiempos (eje X, por ejemplo, horas o días) (Figura 3). Para la gran mayoría de los objetos celestes esta curva es una recta constante pero existen algunos objetos celestes que tienen variaciones, más o menos periódicas, por lo que se denominan objetos variables.

Fecha	Brillo (Magnitud)	Fecha	Brillo (Magnitud)
April 21	9.2	June 20	8.7
April 27	9.3	June 26	8.3
May 3	9.7	July 2	8.6
May 9	9.9	July 8	9.1
May 15	9.6	July 14	9.1
May 21	9.8	July 20	9.2
May 27	9.9	July 26	9.5
June 2	9.7	Aug 1	9.9
June 8	9.1	Aug 7	9.7
June 14	8.8	Aug 13	9.7

Figura 3. A partir de una serie de datos de brillo de un objeto celeste (magnitud) obtenidas en distintas fechas, se confecciona la curva de luz correspondiente (derecha). Por convención se establece en el eje Y el brillo del objeto en magnitudes crecientes hacia abajo (menor brillo).



Como se ha expuesto, los asteroides presentan variaciones de luminosidad en cortos periodos de tiempo (horas) debido a su rotación, por lo que a partir del estudio de la curva de luz puede calcularse dicho periodo de rotación.

#### 4.2- Consideraciones previas

La actividad consistirá en obtener una curva de luz de un asteroide a partir de medidas de la magnitud instrumental del asteroide y dos estrellas de comparación. Normalmente las curvas de luz de los asteroides suelen ser variables debido a la combinación de su rotación y su composición irregular (reflectividad de la superficie o albedo).

Si el asteroide no rotara siempre nos mostraría la misma superficie y, por tanto, siempre presentaría el mismo brillo

(recordemos que los asteroides brillan pues reflejan la luz del Sol en su superficie). Si el asteroide rotara pero su forma fuera la de una esfera perfecta tampoco presentaría variabilidad (toda la superficie presentaría el mismo albedo o porcentaje de reflexión de la luz solar).

Pero la realidad es que tanto la superficie (como la forma) de los asteroides es irregular por lo que al rotar nos muestran distintas zonas (con distintos albedos) que se traduce en variaciones de brillo. Lo realmente interesante es que las variaciones de brillo son periódicas posibilitando un cálculo del periodo de rotación del asteroide a partir de una inspección visual de su curva de luz (distancia entre dos máximos o mínimos). Se debe prestar especial atención a asteroides tipo NEA con parámetros dinámicos desconocidos.

Las listas actualizadas pueden encontrarse en <http://spaceguard.iasf-roma.inaf.it/SSystem/lists/plist.html>. De entre los muchos asteroides catalogados si queremos realizar una observación con el TAD que consista en calcular una curva de luz deberemos seleccionar alguno que cumpla:

- Su periodo de rotación esté alrededor de las cinco horas. De esta forma podremos ver una rotación completa a lo largo de una noche.
- Tenga una variabilidad de décimas de magnitud. Variaciones de brillo más pequeñas serán difíciles de detectar por los errores de medida.

#### 4.3- Fotometría de asteroides

1) **Selección**. Antes de las observaciones, es necesario identificar y conocer el asteroide que se quiere estudiar. Para ello puede consultarse el grupo de trabajo denominado CALL-Collaborate Asteroids Light Curve ([www.minorplanet.info/call.html](http://www.minorplanet.info/call.html)) del Minor Planet Center (MPC), que es la institución internacional encargada de recopilar las observaciones de asteroides y cometas, calcular

sus órbitas y publicar los resultados.

Este grupo de trabajo ofrece información detallada de los asteroides que entran en oposición (posición en la órbita más cercana a la Tierra) a lo largo de los cuatro trimestres del año. Además, permite conocer la magnitud y el período estimado de algunos asteroides ([http://www.minorplanet.info/PHP/call\\_OppLCDBQuery.php](http://www.minorplanet.info/PHP/call_OppLCDBQuery.php)).

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**. 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](http://www.ap-i.net/skychart/start)) u otros (The Sky, Starry Night).

Es necesario confirmar la localización del asteroide mediante imágenes sucesivas para detectar su movimiento entre las estrellas. El software Astrometrica ([www.astrometrica.at](http://www.astrometrica.at)) es una buena herramienta para este fin, ya que además de identificar el campo estelar que se ha fotografiado, indica la existencia de asteroides.

La metodología para la elaboración de una curva de luz de un objeto variable, como un asteroide, mediante el método de la comparación se expone a continuación:

1) Obtener una secuencia de imágenes con el asteroide y dos estrellas de comparación. Es muy importante tener en cuenta varios requisitos:

– El asteroide y las estrellas de comparación deben ser observados de forma simultánea, es decir, deben estar contenidos en el mismo campo.

- Las estrellas de comparación y el asteroide deben tener brillos (y colores) semejantes.
- Debemos asegurarnos que ninguna de las estrellas de comparación es variable o presenta variaciones esporádicas.

Para la obtención de imágenes es posible utilizar alguna de los telescopios robóticos del proyecto GLORIA ([users.gloria-project.eu](http://users.gloria-project.eu)).

2) Cálculo de las magnitudes instrumentales (es recomendable usar algún filtro pero también puede realizarse sin filtros) del asteroide y de las estrellas de comparación (para más detalles ver apartado Análisis de las imágenes. Fotometría de la [Unidad Didáctica Observaciones Astronómicas con Webcam y CCD](#)).

A partir de la secuencia de imágenes obtenidas con el detector, calcularemos las intensidades o flujos de los objetos y a partir de estos las magnitudes instrumentales, para cada imagen o tiempo (t), según la siguiente relación:

$$m_{ast}(t) = A - 2,5 \log(F_{ast}(t))$$

$$m_{com1}(t) = A - 2,5 \log(F_{com1}(t))$$

$$m_{com2}(t) = A - 2,5 \log(F_{com2}(t))$$

, donde  $F_{ast}(t)$ ,  $F_{com1}(t)$ ,  $F_{com2}(t)$  son los flujos del asteroide y las estrellas de comparación 1 y 2, respectivamente, y  $m_{ast}(t)$ ,  $m_{com1}(t)$ ,  $m_{com2}(t)$  sus magnitudes para una imagen obtenida en el instante (t), mientras que A es una constante que depende del sistema (cielo+telescopio+detector). Finalmente, si calculamos la diferencia de magnitudes obtendremos:



$$\Delta m(t) = m_{ast}(t) - m_{com1}(t) = [A - 2,5\log(F_{ast}(t))] - [A - 2,5\log(F_{com1}(t))] = 2,5\log(F_{com1}(t)) - 2,5\log(F_{ast}(t)) = 2,5\log\left(\frac{F_{com1}(t)}{F_{ast}(t)}\right) \quad \text{ECUACIÓN 1}$$

$$\Delta m_{estrellas}(t) = m_{com2}(t) - m_{com1}(t) = [A - 2,5\log(F_{com2}(t))] - [A - 2,5\log(F_{com1}(t))] = 2,5\log(F_{com1}(t)) - 2,5\log(F_{com2}(t)) = 2,5\log\left(\frac{F_{com1}(t)}{F_{com2}(t)}\right) \quad \text{ECUACIÓN 2}$$

3) A partir de las anteriores ecuaciones podemos obtener la curva de luz del asteroide y, muy importante, una estimación del error de los puntos de la curva de luz. Representando los valores de la ecuación para los distintos tiempos obtendremos la curva de luz de nuestro asteroide en el intervalo observado.

Si representamos la ecuación 2 obtendremos la curva de luz de la estrella de comparación 2 y podemos deducir dos cosas:

1. Si la representación no es una recta constante significará que alguna de las estrellas es variable y, por tanto, no podemos usarlas para el cálculo de la curva de luz del asteroide. Debemos elegir otras estrellas de comparación.

2. Si obtenemos una constante podemos calcular la dispersión de los puntos (simplemente la desviación estándar o sigma de  $\Delta m_{estrellas}(t)$  calculada para todas las imágenes o tiempos). La dispersión calculada será una estimación del error de la curva de luz del asteroide y estará relacionada con la calidad de la noche de observación y de la instrumentación utilizada (telescopio+detector).

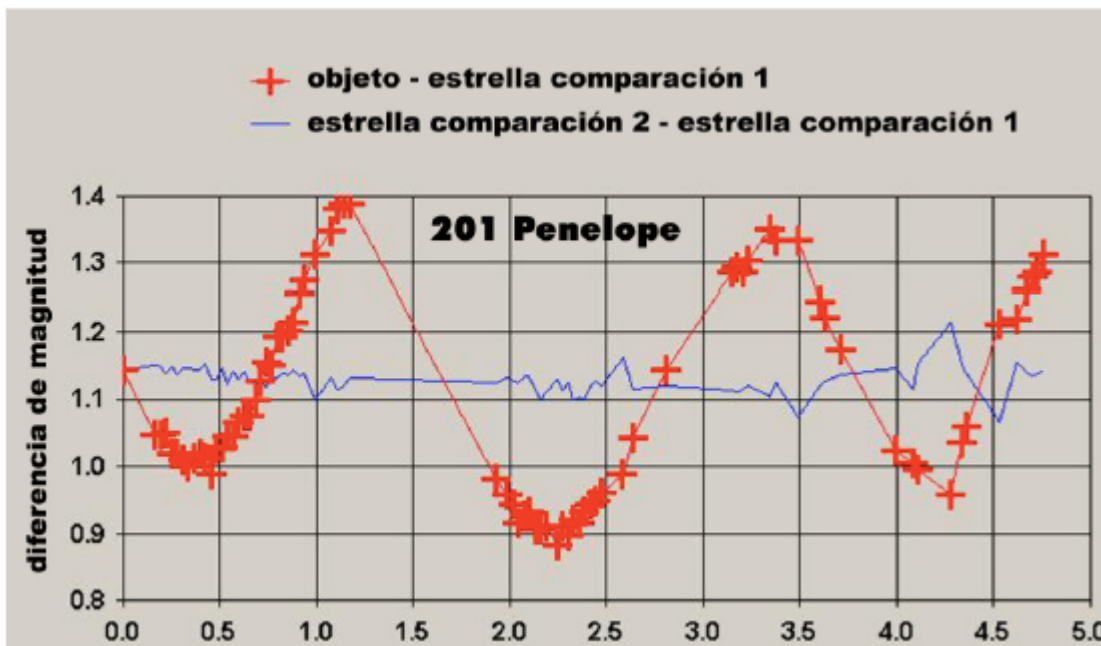


Figura 4. Curva de luz del asteroide 201 Penélope obtenida durante una noche de observación. Este asteroide es del tipo M, con unas dimensiones máximas de 70km y un periodo de rotación de 3,7 h. Además no es demasiado débil (magnitud visual alrededor de 10) y, como se muestra en la figura, presenta variaciones de 0,4 magnitudes. Todas estas características lo convierten en un buen candidato para poder obtener una buena curva de luz con pequeños telescopios. En la figura se han trazado superpuestas dos curvas, la del propio asteroide (usando la estrella de comparación 1) y la de la estrella de comparación 2 (respecto a la estrella de comparación 1). Con la curva de la estrella de comparación podemos deducir que las estrellas de comparación no son variables y que el error de medida está alrededor de 0,03 magnitudes.

### - Resultados -

Dentro del Sistema Solar los Asteroides y especialmente los tipo NEA (objetos con órbitas cercanas a la Tierra) son importantes tanto desde el punto de vista científico como social. Por un lado una buena caracterización de una muestra estadísticamente significativa de asteroides permitiría responder a interrogantes sobre la formación de los sistemas planetarios, y por otro, la posibilidad de una colisión de un NEA con nuestro planeta le da una dimensión social importante al estudio.

Hoy en día conocemos un total de 11.000 NEAs. Sin embargo, sus propiedades físicas (estados dinámicos y composición) y sus órbitas siguen teniendo grandes incertidumbres o simplemente se desconocen (como es el caso de los periodos de rotación). Con un programa de seguimiento de Asteroides podremos averiguar:

- 1) Nuevos Asteroides binarios.
- 2) Grandes Asteroides (mayores de 100m) de rotación rápida (< 2.25h).
- 3) Parámetros dinámicos (ejes e inclinaciones) a partir de seguimiento fotométrico prolongado.
- 4) Cambios en los periodos de rotación de Asteroides conocidos.
- 5) Descubrir Asteroides con actividad cometaria (MBC, cometas del cinturón principal).

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

El envío de datos fotométricos puede realizarse a [minorplanetcenter.net/light\\_curve](http://minorplanetcenter.net/light_curve) Mientras que los datos astrométricos se envían directamente desde los programas de reducción.

Actualmente el proyecto OSIRIS-REx (NASA, <http://osiris-rex.lpl.arizona.edu/>) cuya principal misión será enviar una nave al NEA 1999-RQ36 retornando a la Tierra con muestras del Asteroide, ha realizado una petición internacional solicitando datos de NEAs (astrometría y fotometría).

## 5 – Referencias

**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](http://www.minorplanet.info/PHP/call_OppLCDBQuery.php)

**ref4** – Efemérides Horizons del JPL: <http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>

**ref5** – Base de datos de curvas de luz de asteroides: <http://www.minorplanet.info/lightcurvedatabase.html>