

# ASOCIACION DE OBSERVATORIOS ARGENTINOS DE CUERPOS MENORES (AOACM)

## Ocultaciones Asteroidales

---

**Carlos Colazo**

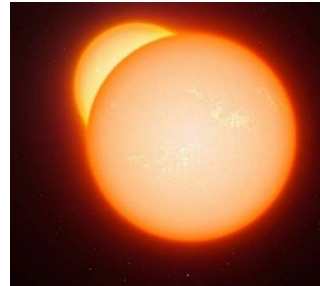
**09/03/2023**

Este apunte contiene una apretada síntesis de conceptos básicos y útiles para quien se inicia en la observación astronómica, utilizando pequeños telescopios equipados con cámaras CCDs. Sirve de guía para orientar al estudiante en su proceso de aprendizaje, quien deberá consultar bibliografía específica si pretende profundizar cada tema propuesto aquí.

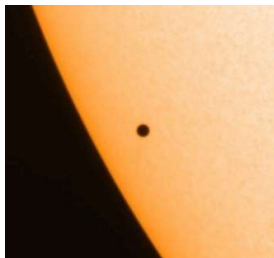
## Ocultaciones Asteroidales

1. **Alineación de dos astros con el observador:** Cuando dos objetos se alinean en el cielo frente a un observador, se produce un evento astronómico que suele sorprender a los curiosos. Estos eventos sirven para obtener mucha información de esos objetos de interés científico. Las características de los acontecimientos, dependen fundamentalmente de los tamaños aparentes (tamaños angulares) de esos objetos. Se presentan tres casos:

- **Eclipse:** Es la interposición de un objeto de tamaño aparente similar con respecto al otro que está más alejado. El observador percibirá la desaparición aparente y transitoria -total o parcial- del objeto más alejado. Ejemplos: Eclipses parciales, totales o anulares de Sol; eclipses penumbrales, parciales o totales de Luna (observador: virtual en la Luna; real en la Tierra); eclipses de sistemas binarios de estrellas (variables eclipsantes).



- **Tránsito:** Es la interposición de un objeto de menor tamaño aparente con respecto al otro que está más alejado. El observador percibirá el recorrido del objeto de menor tamaño aparente dentro del disco del objeto más alejado. Ejemplos: Tránsito de los satélites de Júpiter frente al planeta; tránsito de Mercurio o Venus frente al Sol; tránsito de exoplanetas frente a la estrella alrededor de la cual el exoplaneta orbita; tránsito de satélites artificiales o aves (conteo de migraciones) frente a la Luna.

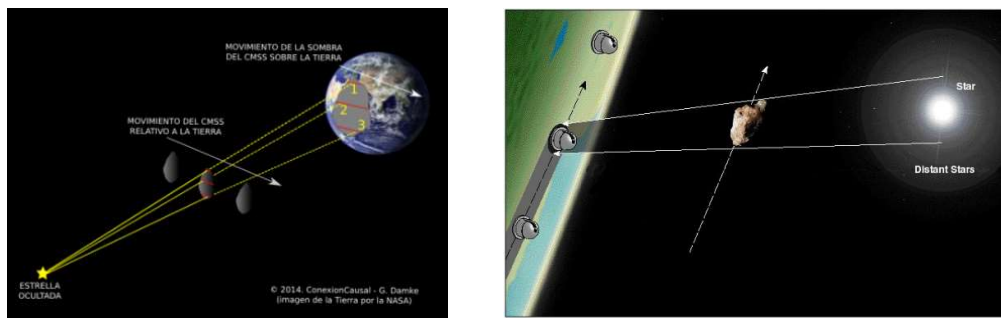


- **Ocultación:** Es la interposición de un objeto de mayor tamaño aparente con respecto al otro que está más alejado. El observador percibiría la desaparición aparente y transitoria del objeto más alejado. Ejemplos: Ocultación de una estrella o un planeta por la Luna; ocultación de una estrella por un planeta, satélite o asteroide; ocultación de un satélite por el planeta.

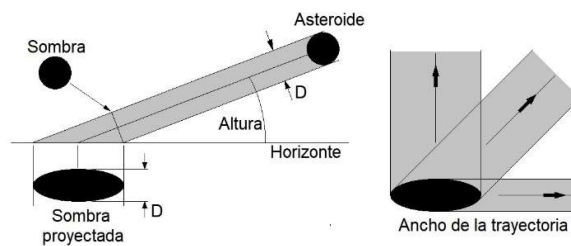
## Ocultaciones Asteroidales



2. **Ocultaciones asteroidales (OA):** Es el caso de las estrellas ocultadas por asteroides. Son ocultaciones, porque los asteroides tienen tamaños aparentes del orden de la décima o centésima de arcosegundo, mientras que las estrellas tienen diámetros aparentes menores, del orden de la milésima o diezmilésima de arcosegundo. La estrella suele ser el componente más brillante de la ocultación.



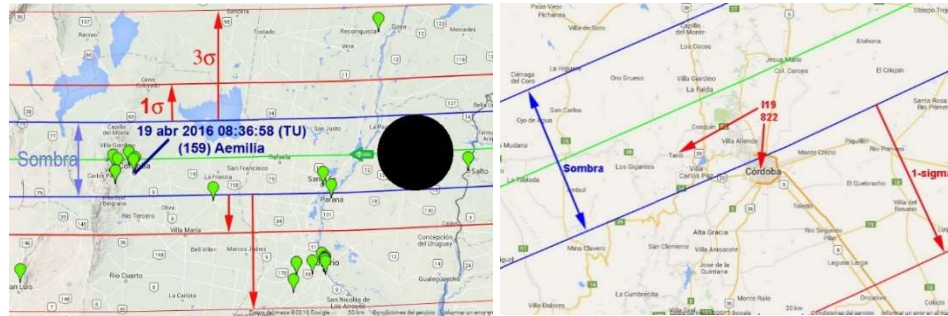
- **Sombra:** A medida que el asteroide se mueve en su órbita, se propaga una “sombra” a partir de la luz emitida por la estrella. El asteroide es un cuerpo opaco iluminado por la estrella, que podemos considerarla como una fuente luminosa puntual. Si colocamos una pantalla perpendicular a la sombra en la Tierra, la proyección tendrá el mismo tamaño que el perfil del asteroide, ya que los rayos tangentes a sus bordes son paralelos entre sí, por provenir de una estrella “infinitamente” distante.
- **Trayectoria de la sombra:** La proyección de la sombra sobre la superficie terrestre será de mayor tamaño, cuanto menor sea la altura del asteroide (y la estrella) a la hora del evento. Esa sombra proyectada se desplaza sobre la superficie terrestre. El ancho de la trayectoria también depende de la dirección en la que se desplaza la proyección de la sombra. Si el observador está en la trayectoria de la sombra: verá la ocultación de la estrella por ese asteroide.
- **Incertidumbres de la sombra:** Debido a los errores de las mediciones de las posiciones de las estrellas y del insuficiente conocimiento de los elementos



## Ocultaciones Asteroidales

orbitales de los asteroides, se producen incertidumbres al hacer la predicción de la trayectoria de la sombra en la superficie terrestre y en los momentos en los que se producirán eventos. Hay dos tipos de incertidumbres:

- Incertidumbre de posición: referida a las regiones de la superficie terrestre por donde pasaría la sombra.



- Incertidumbre temporal: referida al conocimiento del instante en que debería ocurrir el evento respecto a un observador en la Tierra.

occultation of 5UC 497-027743 by 2378 Pannekoek on 2018 Mar 24

E. Longitude	Centre Latitude	U.T. h m s	Star Alt °	Star Az °	Sun Alt °	Limit 1 Latitude	Limit 2 Latitude	Limit 3 Latitude	Limit 4 Latitude	Alt Crn
- 65 00 0	-31 15	1 5 36	38	315	-34	-31 33 31	-30 56 40	-32 26 16	-30 5 37	1.19
- 64 35.5	-31 15	1 5 38	38		-34,5					
- 64 0 0	-30 53 38	1 5 42	38	314	-35	-31 12 3	-30 35 21	-32 4 34	-29 44 31	1.19

-----> 60/6 = 35,5/X , Diferencia de tiempo: X = 6\*35,5/60 = 3,5 seg ; tiempo de la OA = 42-3,55 = 38,45seg

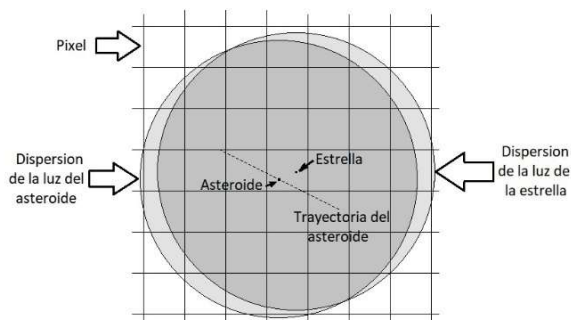
Uncertainty in time = +/- 3 secs

Prediction of 2018 Mar 13.0

Calculo del tiempo (UT) de la OA, para el Observatorio Astronomico El Gato Gris

2018 03 24 01:05:38 + 3 seg - Duracion del evento: 2 seg  
Con 3 sigmas (99,7% de certidumbre): 01:05:28 a 01:05:48

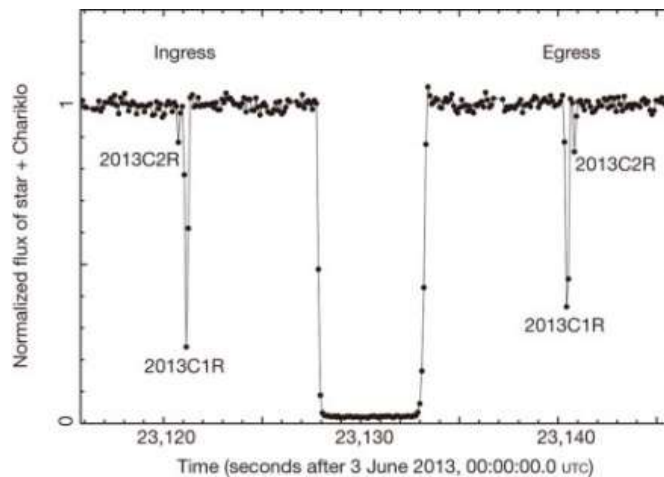
- **Dispersión de la luz:** Las imágenes de la estrella y el asteroide en un sensor de CCD, deberían tener tamaños tan pequeños, que ocuparían diminutos puntos dentro de un pixel. Sin embargo: estrella y asteroide forman sus improntas con formas circulares de varios pixeles de diámetro, debido a la dispersión de la luz en la atmósfera. Cuando estrella y asteroide se aproximan a fracciones de arcosegundos, las improntas circulares se confunden. Podría ocurrir que la trayectoria del asteroide no pase por encima de la estrella: la ocultación no ocurrirá, aunque el observador esté muy cerca de la trayectoria de la sombra. En ese caso los flujos de luz de la estrella y el asteroide llegarán juntos al sensor, con las improntas superpuestas.



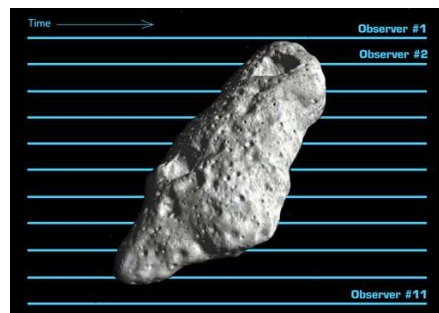
## Ocultaciones Asteroidales

### 3. **Objetivos de las OA:** Con los datos que se obtengan, se pretende:

- Precisar los valores de los elementos orbitales del asteroide. La precisión con la que se determina la posición del asteroide es superior a la que se logra con una astrometría. Poder informar con certeza si la ocultación es positiva o negativa, contribuye con este objetivo.
- Medir: tamaño y forma del asteroide. Cuando se observa un mismo evento desde diferentes sitios, es posible determinar el perfil de la sombra del asteroide.
- Evaluar la validez de las efemérides. Las fallas se pueden producir en el cálculo.
- Detectar estrellas dobles muy cerradas. Muchas veces se han descubierto sistemas binarios compactos cuando el asteroide oculta primero a una estrella y luego a su compañera.
- Detectar presencia de atmósfera. La presencia de atmosfera en objetos transneptunianos, produce: caída y recuperación del brillo, de manera no tan abrupta como ocurre con ausencia de atmósfera.
- Detectar satélites de asteroides. Una pequeña caída de brillo antes o después de la ocultación del cuerpo principal, puede ser indicio de la presencia de un satélite del asteroide que provoca ese pequeño parpadeo.
- Detectar anillos de asteroides. Caídas de brillo antes y después de la ocultación del cuerpo principal son indicadores de la presencia de un anillo.



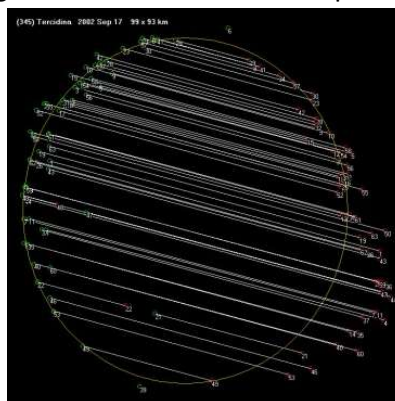
- ### 4. **Duración de la OA:** En las OA, se pretende medir el tiempo exacto en el que ocurre la desaparición y la reaparición de la estrella, cuando el asteroide se cruza delante de la estrella. La duración de la OA de una estrella, depende: del tamaño del objeto o de la zona del asteroide que oculta a la estrella (central o por un borde) y de la velocidad relativa del asteroide con respecto del observador en la Tierra -que también está en movimiento-. Para asteroides del cinturón principal, con





dimensiones de pocas decenas de kilómetros, las OA no suelen pasar los 10 segundos.

- **Secante sobre el asteroide:** Según cual sea la posición del observador en la superficie terrestre, puede ocurrir que la sombra no lo alcance (ocultación negativa) o lo alcance (ocultación positiva) en: la zona central, entre el centro y un borde o de forma rasante. Los tiempos de duración de la ocultación serán distintos en cada caso, dependiendo de la longitud de la secante trazada por la estrella sobre el perfil del asteroide. Es de esperar que las secantes en la zona central sean más largas, pero como los asteroides no suelen tener forma esférica, es frecuente encontrar sorpresas.
- **Forma del asteroide:** Cuando varios observadores logran registrar ocultaciones positivas desde diferentes posiciones geográficas, es posible reunir todas las secantes como si todos los observadores estuviesen en una misma línea perpendicular a la trayectoria de la sombra. Esas secantes trasladadas, permiten obtener un perfil del asteroide que ayudará a conocer la forma del mismo.



5. **Equipo mínimo para observar OA:** Para tener buenas chances de obtener información útil en la observación de una OA, es necesario disponer de:

- Telescopio de 20 cm (o más) de diámetro.
- Montura ecuatorial, seguimiento motorizado y puesto en estación.
- Cámara CCD o CMOS: monocroma y orientada según los puntos cardinales.
- Computadora: para controlar la cámara CCD o CMOS y archivar las imágenes.
- Conexión a Internet -o GPS- para sincronizar el reloj de la computadora.



6. **Coordenadas geográficas del sitio de observación:** Para cualquier método de observación que se utilice, se debe conocer las coordenadas geográficas (latitud y longitud) y la altura sobre el nivel del mar del sitio desde donde se observe la ocultación asteroidal. Se los puede obtener con dispositivo GPS o con el programa computacional de GoogleEarth, si no se dispone de un GPS. En general, para ocultaciones de estrellas por asteroides, se requiere una precisión de al menos  $\pm 3''$  de latitud y longitud (lo que equivale a unos 100m), y de 15m en la altura. Estos datos no solo sirven para obtener datos confiables en el momento de planificar una observación, también son importantes para poder localizar de forma adecuada la secante sobre el asteroide en el momento de analizar los resultados.

## Ocultaciones Asteroidales

7. **Predicciones de OA:** Existen varias fuentes de información sobre predicciones de OA. Muchas se pueden consultar por internet, como el caso de las conocidas predicciones de astroides de Steve Preston (<http://www.asteroidoccultation.com/>). Otra fuente de consulta de predicciones de OA es el sitio web de Derek C Breit: (<http://www.poyntsource.com/New/Global.htm>). Sin embargo, es altamente recomendable descargar el programa de predicciones personalizadas de Occult Watcher (<http://www.occultwatcher.net/>). Configurando el programa con los datos del sitio de observación, ofrece abundante información necesaria sobre las ocultaciones que se producirán en las inmediaciones del sitio de observación y aproximaciones horarias calculadas para la posición geográfica del sitio. Para las predicciones de las ocultaciones por TNOs, se puede consultar el sitio web del Observatorio de Paris (<http://lesia.obspm.fr/lucky-star/predictions/>).

Asteroid Occultation Updates						
Updated: 2017 Dec 29, 16:49 UT						
<a href="#">HELP/FAQ</a> <a href="#">Observations/Resources</a> <a href="#">All Events</a>						
Upcoming Events:						
December 2017						
Event Date/Time	Rank	Asteroid	Star	Visibility	dM D A	Details
30 Dec , 01:13 UT	59	(561) Cloelia mag 14.7	TYC 0849-00979-1 mag 11.7	Russia, India	3.1m 18.1s 63°	[October 28 22:21]
30 Dec , 02:13 UT	99	(392) Wilhelmina mag 13.8	TYC 0163-00398-1 mag 11.1	Africa, Central America	2.8m 5.7s 80°	[December 15 16:49]
31 Dec , 02:03 UT	84	(1113) Katja mag 13.2	TYC 2913-02356-1 mag 11.5	W Canada, W USA	1.9m 4.9s 52°	[December 15 16:49]
31 Dec , 08:21 UT	64	(1936) Lugano mag 13.0	TYC 1347-01031-1 mag 12.3	USA	2.8m 3.2s 70°	[November 27 14:39]
31 Dec , 11:19 UT	100	(11) Parthenope mag 10.7	UCAC 37714431 mag 11.5	E USA, W Canada	0.4m 17.9s 48°	[December 15 16:50]
31 Dec , 12:57 UT	100	(191) Kolga mag 13.2	TYC 0763-02259-1 mag 11.4	Hawaii, Japan, China	2.0m 8.0s 71°	[December 15 16:50]
31 Dec , 20:27 UT	49	(285) Regina mag 17.0	TYC 6107-00024-1 mag 9.7	Japan, E Russia	7.3m 2.3s 59°	[October 28 22:50]

8. **Planificación de la observación:** Conocida la predicción de una OA para el lugar de observación, será importante evaluar los siguientes parámetros:

- **Coordenadas de la estrella.**

Se debe prestar atención si son J2000 o de la fecha. Conviene analizar el campo de estrellas que rodean a la que será ocultada, utilizando una carta celeste, sobre la que se marque el tamaño del campo visible con el equipo que se utilizará en la observación de la OA.

### DATOS DE LA OCULTACIÓN - PLAN DE OBSERVACIÓN

OCULTACIÓN	(185) Eunike oculta a TYC 0179-01673-1
PREDICCIÓN	IOTA
OBSERVATORIO	822
ESTRELLA	Fuente: Occult Watcher
Nombre	TYC 0179-01673-1
Constelación	Canis Minor
AR (h) de la fecha	07h 41m 16.8s
DE (gra) de la fecha	+01° 22' 40.7"
AR (h) J2000	07h 40m 20.0s
DE (gra) J2000	+01° 25' 24.4"
Mag V	11.7
Mag R	4.5

- **Magnitud de la estrella.** Con la práctica, se aprende que magnitudes son observables con el equipo del que se dispone y teniendo en cuenta las

## Ocultaciones Asteroidales

características del sitio y del equipo. Con ello se podrá discriminar si vale la pena intentar o no la observación del evento.

- **Magnitud del asteroide.** En la mayoría de las OA, el asteroide será mas tenue que la estrella (mag 15 o más). En este caso, el observador probablemente no verá el asteroide como un objeto separado y la estrella desaparecerá por completo durante el evento. En otros casos, el asteroide es lo suficientemente brillante como para observar su movimiento por separado de la estrella. Y en algunos eventos, el asteroide es en realidad más brillante que la estrella.

A S T E R O I D E	Fuente: Occult Watcher
Número	185
Nombre	Eunike
Clasificación	Cinturon de asteroides
Descubierto en	Observ. Litchfield USA 1 de marzo de 1878
Descubierto por	Heinrich Peters
Diámetro	157,5 km
Periodo de Rotación	21,8 hs
Magnitud Absoluta	
Otra Designación	
Equinoccio Orb	2000
Época Orb	2018 ene 29,00000
Anomalía Media Orb	86,59868
Excentricidad Orb	0,12919213
Inclinación Orb	23,237264
Nodo Orb	153,83193
Periastro Orb	223,875706
Semieje Mayor Orb	2,7376569

- **Magnitud combinada.** En cualquier caso, breves instantes antes de la OA la impronta de la estrella y del asteroide se funden en una misma marca. El brillo de la impronta es ligeramente mayor que el objeto más brillante. Instantes antes y después del evento, lo que interesa es la magnitud combinada de ambos objetos y no la de cada objeto. Mientras se produce la OA, el brillo que se detectará será el del asteroide solo.

- **Caída de magnitud.** La caída de magnitud desde la magnitud combinada de ambos objetos a la magnitud del asteroide, será detectable según: el valor de la magnitud combinada estrella-asteroide, las características del equipo a utilizar, las características del sitio de observación, las condiciones meteorológicas y el método que se utilice para observar el evento.

EVEN TO	Fuente: Occult Watcher
Id Evento OW	20180130-185-0179016731
Última Actualización	17 ene, 18:29 *
Fuente	IOTA
Datos en bruto	Occelmt
Hora del Evento (TU)	30/1/2018 2:04:37 a. m.—
Rank (Prob.)	100
Caída de (mag)	0,75
Caída de Mag. (R)	6,7
Mag. combinada	10,9
Mag. del Asteroide	11,7
Duración Max. (sec)	10,6
Ancho Trayectoria (km)	193
Ancho Zona Sigma (km)	237
Probabilidad	99,90%
Distancia de Viaje	31 km NE
Separación cuerdas	-26
Altitud Estrella	52
Acimut Estrella	33
Altitud Sol	-30
Altitud Luna	N/A
Distancia del Sol (gra)	156
Distancia de la Luna (gra)	19
Iluminación de la Luna	97
Tipo de Error	Meas
Error 1-Sigma	0,013
Error Ancho sombra	1,113
Error Eje Mayor	0,016
Error Eje Menor	0,009
Error PA Mayor	83
Error en hora (Sigma incert)	1 seg
Delta	1,833 AU
Diameter	157,0 km
Stellar Diameter	0,0 mas
Hora del Evento (TL)	23:04:37 a. m.
Fecha Noche del evento	29/01/2018-

- **Hora del centro del evento.** Se debe prestar atención si la hora está expresada en Tiempo Universal (TU) o en Tiempo Local (TL). Con respecto a la fecha: es frecuente equivocar la noche de observación, por lo que se recomienda anotar la fecha de la tarde a la que corresponde la noche del evento, además de la fecha del evento. Por ejemplo: Un evento para el viernes 22 de abril a las 05:24:43 (TL) debe observarse en la noche del jueves 21 de abril.



- **Duración máxima de la OA.** Los puntos de entrada y salida de la estrella en el asteroide, definen una secante al perfil de su forma. La duración máxima se refiere al tiempo de la OA esperado para un sitio que observe el evento pasando la estrella por la parte más ancha del asteroide (secante máxima). Si el observador está cerca de un borde de la trayectoria de la sombra, la duración de la OA será mucho más breve.
  - **Probabilidad de ver el evento.** Tiene en cuenta sólo las incertidumbres de posición y se refieren a un sitio de observación en particular. No tiene en cuenta otros factores, como: las incertidumbres temporales de la predicción, la incertidumbre por la metodología de observación ni la incertidumbre para detectar detalles por el tiempo de lectura del CCD. Si el sitio de observación esta fuera de las tres desviaciones estándar del error de posición, la probabilidad de éxito será prácticamente nula.
  - **Altitud de la estrella.** Se deberá verificar si la estrella estará a gran altura a la hora del evento. Es deseable que la estrella tenga una altura superior a 30° en sitios urbanizados y a 10° en cielos oscuros.
  - **Distancia a la Luna.** Es conveniente que la Luna esté alejada de la estrella a ocultar a la hora del evento. Es deseable que esté a más de 20°.
  - **Iluminación de la Luna.** La Luna llena afectará el fondo de cielo y con ello la magnitud limite a detectar, por lo que se dificultará la observación de una estrella débil que sea ocultada por un asteroide.
  - **Error en la hora** (incertidumbre temporal). Define el método de observación. Si la incertidumbre temporal es grande, puede que convenga utilizar el método de la fotometría diferencial en lugar del método de la deriva. Si al sumar el error de la hora: tres desviaciones estándar antes y otras tres después de la duración máxima de la OA, resulta que ese intervalo total es mayor que el tiempo de exposición máxima posible de obtener con el método de la deriva, entonces se deberá recurrir al método de la fotometría diferencial.
  - **Culminación de la estrella.** Si se utiliza una montura ecuatorial alemana, es importante saber si la hora de la culminación de la estrella estará próxima a la hora del evento. Si el evento ocurre poco después de la culminación, el evento podría ocurrir cuando necesitemos pasar el tubo al Este de la montura. Se debe evaluar la estrategia que conviene utilizar en cada caso.
  - **Crepúsculo.** Un evento que ocurra en el crepúsculo tendrá el fondo de cielo elevado y con ello afectará la magnitud limite a detectar. Si el evento ocurre durante el crepúsculo vespertino, puede que no se tenga tiempo suficiente para preparar la observación.
9. **Configuración de los programas a utilizar en la fotometría diferencial.** Antes de observar un evento por el método de la fotometría diferencial, se debe verificar que:
- El programa que controla el CCD no debe calibrar cada imagen que capture, porque ello produciría un incremento enorme del tiempo en el que no se registra la estrella. En el programa Maxlm se procede así: "Camara Control", solapa "Expose", clic en "Options" y seleccionar "No calibration".

## Ocultaciones Asteroideas

---

- El programa que controla el CCD debe registrar en el header la fecha en JD. En MaxIm: ir a "File", clic en "Settings", solapa "FITS Header" en la ventana "Key", clic en "TIME-OBS".
- El programa que controla el CCD debe registrar el tiempo con precisión en las centésimas de segundo. En MaxIm: ir a "Camera Control", solapa "Expose", clic en "Options", clic en "measure shutter latency" y ahí fijar a 0 0 1 y seleccionar "aplicar".
- El programa que controla el CCD debe registrar el tiempo del reloj de forma automática en el formato FITS. Según el programa de captura aplicado, dichos tiempos registrados pueden ser: el de inicio de la imagen, el de mitad de imagen, o el de su finalización. Se debe configurar el programa para que registre el inicio de la captura y verificarlo. Ejemplo: en el Fit Header de una imagen se lee:

```
...  
DATE-OBS = '2017-11-27T04:32:07' /YYYY-MM-DDThh:mm:ss observation start, UT  
EXPTIME      = 15.000000000000000 /Exposure time in seconds  
...
```

- El programa que construye la curva de luz coloca el punto en la mitad del tiempo de exposición. En el ejemplo anterior: el punto estará ubicado en el tiempo:

TU: 22/11/2017 04:32:14

- La computadora no debe tener activado el sincronizando por internet.
  - Buscar: "Ajustar fecha y hora" ó "Cambiar configuración de fecha y hora".
  - Solapa Hora de Internet. Seleccionar "Cambiar la configuración"
  - Destildar "Sincronizar con un servidor horario de Internet".

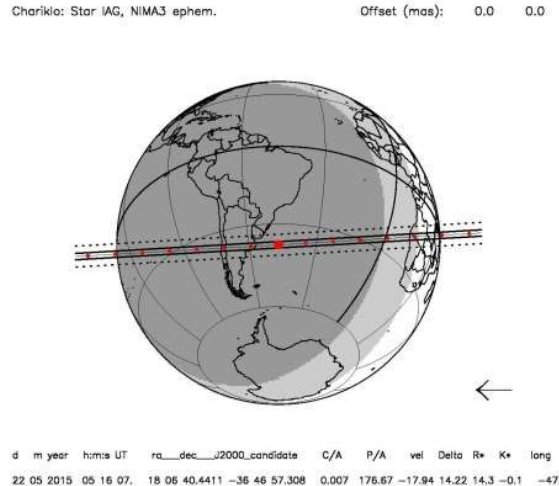
Existen varios programas de uso libre en Internet que permiten la sincronización. El programa "Dimensión 4" asegura que luego de una sincronización, el reloj de la computadora apenas tendrá unos pocos milisegundos de error con respecto a un reloj patrón. ( <http://www.thinkman.com/dimension4/> )

**10. Mapas de predicciones de OA para TNOs:** Una forma rápida de evaluar las chances de observar OA es la de revisar mapas que muestran al planeta Tierra y sobre el cual se dibujan las trayectorias de las sombras. Para interpretarlos adecuadamente se debe tener en cuenta como se los construye.

- Líneas rectas y continuas: límites de la sombra, separadas según el tamaño estimado del objeto.
- Tiempo de ocultación nominal: es el indicado al pie del mapa y corresponde al gran punto rojo. Representa la máxima aproximación geocéntrica del evento.
- Cada punto rojo, entre las líneas continuas, está separado por un minuto.
- La flecha muestra el sentido del movimiento de la sombra.
- Con gris oscuro se representa la zona del planeta que está de noche, a la hora del evento. Con gris claro se identifica la zona con crepúsculo astronómico en ese instante. Con blanco se dibuja la zona que esta de día.
- Error de posición de la sombra: representada con líneas de puntos. Para las OA de TNOs suelen ser de aproximadamente 1000 a 3.000 kilómetros.
- $R^*$  y  $K^*$  son las magnitudes  $R$  y  $K$  de las estrellas.

## Ocultaciones Asteroidales

- Se debe tener cuidado con los datos de fechas y horas, ya que se expresan en TU, y el evento puede comenzar en la fecha anterior al calcularlo en TL.



**11. Método de la fotometría diferencial:** Consiste en tomar imágenes consecutivas, para registrar el flujo de la estrella -que debería ser ocultada- en cada imagen y se lo compara con el flujo registrado de algunas estrellas del entorno. Se repite el procedimiento en cada imagen de la serie. Si el evento no ocurre: las estrellas de referencia y la estrella a ocultar no varían su brillo durante la serie, el brillo de la estrella a ocultar será siempre el mismo, imagen a imagen. Si el evento ocurre, podremos detectar las caídas de brillo de la estrella al ser ocultada por el asteroide.

- La serie de imágenes debe durar unos veinte minutos.
- La serie deberá estar centrada en la hora de la predicción del evento para el lugar de observación.
- Se necesitan dos o tres estrellas de brillos parecidos a la estrella a ocultar y que estén en su entorno. Ellas serán las estrellas de calibración de la estrella a ocultar.
- El formato de la imagen debe servir para realizar la fotometría diferencial (Ej.: formato Fit).



- Si se usa una montura ecuatorial alemana y si el evento ocurre cuando la estrella a ocultar culmina o pocas decenas de minutos después de la culminación: tratar

que el tubo esté al Este de la montura (con las pesas al Oeste), desde el comienzo de la serie.

- La observación debe realizarse sin filtro, para lograr la mayor señal posible.

**12. Tiempo de exposición en fotometría diferencial:** Configurar el tiempo de exposición a utilizar en la fotometría diferencial es siempre difícil, pero mucho más si se utiliza una cámara CCD (lenta) en lugar de una del tipo CMOS (rápida).

- Se busca configurar la observación con la mayor resolución temporal posible, es decir: con tiempo de lectura y tiempo de exposición tan breves como se pueda. La idea es: tener muchas imágenes por unidad de tiempo logrando una buena densidad de puntos en la curva de luz que permitan ver detalles y medir con mayor precisión los momentos del evento. Es por esta razón que se prefiere observar con cámaras CMOS en lugar de las CCDs.
- Los factores que definen el tiempo de exposición a utilizar son: el brillo de la estrella, la caída de brillo esperada, el tamaño del telescopio, la característica de la cámara, la velocidad de transferencia de datos y las condiciones meteorológicas y astronómicas del evento.
- Tiempos de exposición de 3 a 7 seg, suelen ser de utilidad en ocultaciones de TNOs, porque los eventos suelen tener duraciones de algunas decenas de segundos. Tiempos mayores suelen ser útiles solo para detectar ocurrencias o no del evento con el fin de reducir incertidumbres orbitales.
- El tiempo de exposición ideal es el que permite lograr que:
  - Se vea bien la estrella. Es deseable que la SNR sea 7, 8 o más. Esto hace que el tiempo de exposición no pueda ser tan bajo como uno quiera.
  - El fondo de cielo tenga un brillo inferior a la magnitud del asteroide. Eso permitirá ver el “fondo” de la caída de brillo del evento.
  - El tiempo de exposición sea mayor que 5 veces el tiempo de lectura.

**13. Tiempo de lectura en fotometría diferencial:** En el caso de las cámaras CMOS, el tiempo de lectura es muy bajo, del orden de las centésimas de segundo. Sin embargo, el tiempo muerto no solo depende de la cámara, también depende del procesador y del cable de transmisión de datos y por ello requiere de una verificación. En el caso de las cámaras CCDs, del tiempo de lectura siempre es muy alto. Hay algunas estrategias para reducir el tiempo de lectura de un CCD:

- En sensores CCD: Usar un binning alto (más aún si la estrella es débil) que permita logra la mayor rapidez posible en la lectura, pero teniendo en cuenta de la escala del pixel sea ligeramente inferior o igual al seeing, es decir: que el FWHM sea ligeramente superior o igual a un píxel.
- En sensores CCD: Recortar la imagen cuando el campo completo es muy grande. En ese caso, el recorte sólo debe abarcar: la estrella a ocultar y las estrellas de calibración. En sensores tipo CMOS no es necesario hacer recortes.
- En sensores CMOS: no importa el binning que se aplique ni es necesario hacer recortes, porque el tiempo de lectura es casi nulo. Se puede usar el binnig del mejor muestreo: que esté entre la mitad y el tercio del seeing, es decir: que el FWHM sea de dos a tres píxeles.

---

## Ocultaciones Asteroidales

---

Para obtener el tiempo de lectura de un CCD o un CMOS, se debe tomar una serie de  $n$  imágenes. Para calcularlo:

$$T. \text{ Lect.} = [ ( \text{Fecha última imagen} - \text{Fecha primera imagen} ) / (n-1) ] - T. \text{ Exp.}$$

**14. Recortes de la imagen en cámaras CCDs:** Se recurre al CCD cuando no se dispone de CMOS para hacer fotometría diferencial. Con los recortes de la imagen, se trata de evitar que el sistema lea las regiones del sensor que no tienen estrellas de referencia y donde no está la estrella a ocultar.

- Se debe definir la sección de la imagen que va a ser leída. Suele ser suficiente con una sección de unos pocos minutos de arco. Al recortar la imagen se leerá menor cantidad de píxeles, y eso permitirá obtener tiempos de lectura más breves.
- Los recortes con forma rectangular “angostos y altos” y “anchos y bajos”, producen diferentes tiempos de lectura, aunque tengan la misma superficie. Se debe identificar la forma que produce el menor tiempo de lectura, haciendo las pruebas y cálculos que correspondan.
- Recortes en MaxIm: En "Camera Control", solapa “Expose”, tildar “On” del cuadro “Subframe”.
  - Si se tilda “Mouse”: el recorte del campo se puede hacer con el mouse dibujándolo sobre una imagen de campo completo (tomada con todo el sensor).
  - Se puede recortar la imagen, incluyendo: la estrella en el campo y las estrellas de referencia. El procedimiento es el siguiente:
    - Sacar una imagen de campo completo.
    - Leer coordenadas (Xe;Ye) de la estrella más próxima al centro del campo.
    - Calcular las coordenadas del vértice superior izquierdo del recorte rectangular a realizar:  $X=X_e-0,5.W$  ;  $Y=Y_e-0,5.H$  (requiere definir: W - ancho- y H -alto- del recorte).
    - Completar la ventana donde se ingresan los datos: X; Y; W y H.



**15. Probabilidad de registrar el evento:** Cuanto mayor sea el tiempo de lectura, mayor será la probabilidad de no registrar el evento. La probabilidad de errar el evento es:

$$\text{Probabilidad de errar eventos} = [ T. \text{ Lect.} / ( T. \text{ Exp.} + T. \text{ Lect.} ) ] * 100 \quad [\%]$$

Con el tiempo de lectura y el tiempo de exposición elegidos, se puede calcular la cantidad de imágenes que se obtendrán durante los 20 minutos de la observación:

$$\text{Cantidad de imágenes} = 20*60 / ( T. \text{ Exp.} + T. \text{ Lect.} )$$



## Ocultaciones Asteroidales

### EJEMPLO: Se conoce el JD (del header)

	T.E. =	3	seg
	1	2.457.154,6519181700	dia juliano
n =	100	2.457.154,6560275400	dia juliano
	$(n-1) \cdot (T.E. + T.M.)$	0,0041093701	dia juliano
	$(n-1) \cdot (T.E. + T.M.)$	355,0495728850	seg
	T.E. + T.M. =	3,5863593221	seg
	T.M. =	0,5863593221	seg
	Prob error eventos	16	%
	Cant. de imagenes	335	en 20 min

Forma empírica: lanzar 1000 imágenes y abortar la adquisición de imágenes al completar los 20 minutos.

16. **Procedimiento del método de la fotometría diferencial.** Las consideraciones a tener en cuenta en días previos al evento son:

- Se debe verificar que la puesta en estación de la montura permita obtener una serie de imágenes sin deriva del campo durante media hora.
- Adquirir una serie de varias decenas de imágenes de la estrella a ocultar:
  - A la misma hora del evento, para que las condiciones astronómicas y del equipo sean similares.
  - Realizar las configuraciones de los programas según lo indicado en el tema anterior.
  - Usar el tiempo de exposición y el binning elegidos.
  - Si se utiliza una cámara CCD: usar el recorte planificado de la imagen.
  - Comprobar la presencia de estrellas de calibración con brillos similares al de la estrella a ocultar.
- Con la serie de imágenes, verificar:
  - La proporción entre tiempo de exposición y tiempo de lectura.
  - La probabilidad de error eventos.
  - Las cuentas máximas en las estrellas: a ocultar y de calibración.
  - La SNR de la estrella a ocultar.
- Construir la curva de luz y verificar que la dispersión de puntos sea menor que la caída de brillo esperada. Y que los puntos de la curva estén por encima del fondo de cielo.

Breves instantes antes del evento:

- Definir el instante del disparo de las capturas y la cantidad de imágenes que se debe tomar en la serie, que en el caso de objetos transneptunianos debe durar un mínimo de 20 minutos. El inicio de la serie debe ocurrir -como mínimo- diez minutos antes de la hora de predicción, de modo que el evento quede centrado en el tiempo de la serie.
- Controlar que esté bien orientada la cámara CCD, identificando dónde están las direcciones de los cuatro puntos cardinales: N-E-S-O.
- Localizar el campo e identificar la estrella que será ocultada por el asteroide.
- Verificar que se disponga de suficientes estrellas de calibración.

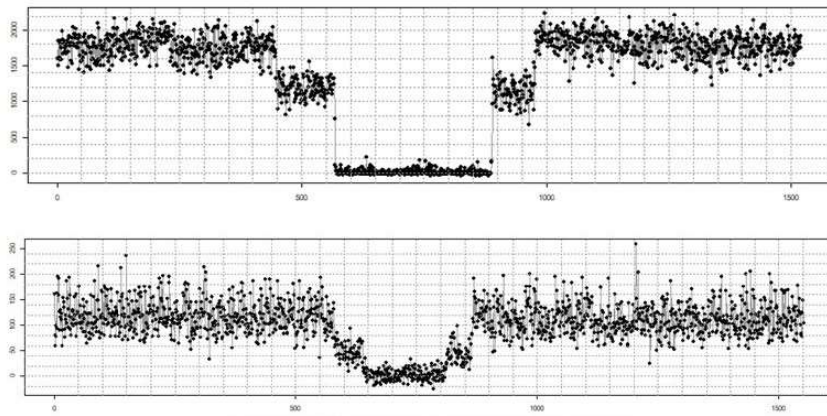
## Ocultaciones Asteroidales

---

- Controlar que el foco sea el mejor posible.
- Se debe hacer una sincronización unos minutos antes del evento.
- Se debe evitar que el reloj se sincronice durante el evento, por lo que hay que asegurarse que la siguiente sincronización automática se produzca mucho después del desarrollo de la serie de imágenes.
- Acomodar la cúpula con el telescopio apuntando al borde de la ventana desde el que se separará durante la observación.
- Disparar la serie de imágenes y controlar que no haya deriva en el campo mientras se desarrolle la observación.
- Detener la serie de imágenes al cumplirse el tiempo estipulado.
- Sincronizar nuevamente el reloj de la computadora que controla la cámara CCD.
- Obtener imágenes de calibración (Darks, Flats, Bias).
- Exportar el log de la sincronización. (En D4 --> History --> Export History)
- Copiar los archivos del evento para su posterior análisis.

17. **Estrella binaria compacta ocultada por un único cuerpo:** Es frecuente descubrir estrellas binarias compactas al observar una ocultación asteroidal.

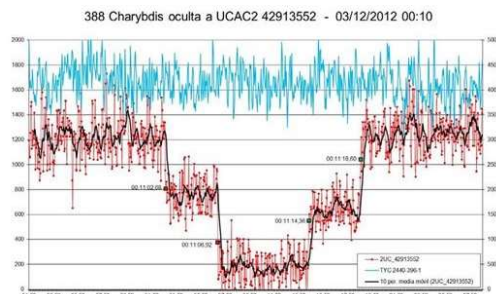
- Aquí el descubrimiento de una estrella doble (TYC 5780-308-1) ocultada por (834) Burnhamia el 23 de agosto de 2017.



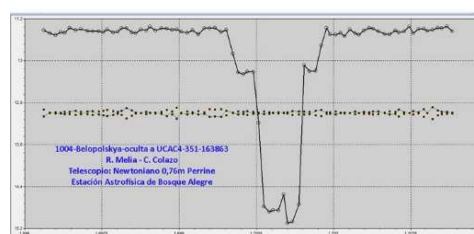
Los observadores: Ted Blank, John Moore, Paul Maley y Steve Messner, obtuvieron doble caída en las curvas de luz.

## Ocultaciones Asteroidales

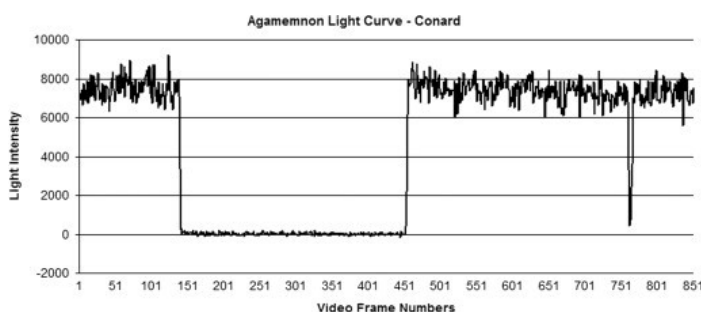
- Algo similar ocurrió el 03 de diciembre de 2012, cuando observadores españoles descubrieron que la estrella UCAC2 42913552 es doble luego de ser ocultada por el asteroide (388) Charybdis.



- También el 27 de julio de 2017 con la ocultación de la estrella UCAC4-351-163863-206 por el asteroide (1004) Belopolskya con el telescopio "Perrine" de la Estación Astrofísica de Bosque Alegre.



18. **Estrella única ocultada por un cuerpo binario:** Otro caso frecuente es el descubrimiento de sistemas binarios o satélites que acompañan al asteroide que oculta a la estrella. El 9 de enero de 2012 se observó una ocultación estelar por el asteroide troyano (911) Agamemnon en el noreste de EEUU, en la que se descubrió un satélite.



Un caso muy interesante es el del asteroide doble (90) Antiope, observado por más de 50 astrónomos aficionados durante la reunión anual de la IOTA de 2011 en California:

