

Cálculo altura de formación de los meteoros

Cálculo de altura de formación de meteoros.

Por

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

Sr. **Miguel Ángel Pío Jiménez**. Astrónomo del Instituto de Astrofísica de Canarias.

Sr. **Juan Carlos Casado**. Astrofotógrafo tierrayestrellas.com, Barcelona.



1 – Objetivos de la actividad

Mediante esta actividad aprenderemos a calcular la altura de formación de los Meteoros a partir de fotografías digitales. Los objetivos que se pretenden alcanzar son los siguientes:

- Aplicar una metodología para el cálculo de un parámetro físico (altura) a partir de un observable (imágenes digitales) como técnica de aplicaciones pedagógicas, documentales e investigadoras.
- Aplicar conocimientos de Trigonometría.
- Conocer y aplicar técnicas de análisis básico de imágenes (escala angular, altura y azimud de estrellas,...).
- Conocer y aplicar técnicas de análisis estadístico básico (cálculo de errores).
- Trabajar cooperativamente en equipo, valorando las

aportaciones individuales y manifestando actitudes democráticas.

-Contribuir al conocimiento científico de los meteoros y sus lluvias asociadas.

2 – Instrumentación

La práctica o actividad se realizará a partir de imágenes digitales de distintas lluvias de estrellas.

Las lluvias de meteoros ofrecen una oportunidad única para llevar a cabo Actividades Educativas por varias razones: (a) es un fenómeno poco común y espectacular, por tanto, trascendente desde el punto astronómico; (b) es un campo de la Astronomía en el que la ciencia ciudadana puede contribuir de forma significativa. Por estos motivos, pretendemos animar a los docentes y alumnos para que participen en la Actividad. En resumen, se trata de proponer un experimento similar a las prácticas de laboratorio, pero en el que el instrumento a utilizar será la web y el laboratorio es el firmamento.

3 – Fenómeno

3.1 – ¿Qué es un meteoro?

En Astronomía llamamos meteoro al fenómeno luminoso que se produce cuando una partícula de polvo y hielo o pequeñas rocas atraviesan la atmósfera de la Tierra. En el lenguaje popular se conoce como estrella fugaz. Hay que distinguir bien entre:

1) Meteoroides: son partículas de polvo y hielo o rocas de hasta decenas de metros que se encuentran en el espacio producto del paso de algún [cometa](#) o asteroide o simples restos de la [formación del Sistema Solar](#).

2) Meteoro: es un fenómeno luminoso producido en la alta atmósfera de un Planeta. Cuando la Tierra intercepta meteoroides éstos se precipitan a alta velocidad en nuestra atmósfera. Su energía cinética se transforma en calor debido a la onda de presión generada (“ram pressure”) y el material meteórico sublima, dando lugar a una línea luminosa que

conocemos como estrella fugaz (ionización y posterior recombinación de los átomos que componen el material del meteorito). También el gas que queda en la trayectoria seguida por el meteorito puede ionizarse y brillar durante unos segundos.

Los meteoros comienzan a emitir luz a unos 100 km de altura sobre la superficie terrestre, y normalmente dejan de verse cuando han alcanzado los 60-70 km de altura, es decir, los meteoros se forman en la Mesosfera.

3) Meteorito: son los meteoroides que alcanzan la superficie de la Tierra debido a que no se desintegran por completo en nuestra atmósfera. Dada su energía, pueden producir un [cráter de impacto](#).

La aparición de meteoros es un hecho muy frecuente (cada día nuestra atmósfera recibe 600 toneladas de material meteórico) y generalmente se ven a simple vista. En una noche oscura y despejada se pueden detectar hasta 10 meteoros por hora. Si la frecuencia aumenta a centenares por hora (aproximadamente uno por minuto) entonces hablaremos de una lluvia de meteoros. Si alcanzan los millares tendremos una tormenta.

Más raro es un fenómeno más espectacular: el de un bólido (meteoros de magnitud inferior a -4, la magnitud o brillo de Venus). Atraviesan rápidamente el cielo, dejan tras sí una estela luminosa y, a veces, pueden llegar a estallar con un gran estruendo.

3.2 – Lluvias de Meteoros

La mayor parte de los meteoros que observamos no guardan ninguna relación entre sí; son llamados esporádicos porque no pueden asociarse a un único cometa/asteroide generador. En determinadas épocas del año, sin embargo, la Tierra atraviesa filamentos de materia producidos por un mismo cometa/asteroide. Las partículas que forman estos filamentos dan lugar a lluvias (o incluso tormentas) de meteoros. Todos

los meteoros de una lluvia parecen proceder de un mismo punto del cielo llamado radiante. Se trata de un efecto de perspectiva similar al que se produce cuando los bordes de una carretera convergen en la lejanía, y se debe a que las trayectorias de las partículas en el espacio son paralelas.

Las lluvias de meteoro se denominan según la constelación (añadiendo, en caso de confusión, la letra griega de la estrella más próxima donde se sitúa el radiante, ver Tabla 1, según información de IMO, **ref1**).

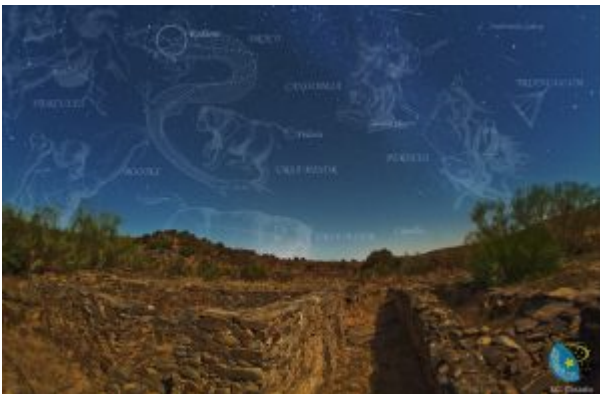


Figura 1a: Lluvia de meteoros de las Dracónidas observada desde las ruinas celtas de Capote en Badajoz (España) en octubre del año 2011. El radiante está localizado en la constelación del Dragón.



Figura 1b: Lluvia de meteoros de las Gemínidas observada desde el Observatorio del Teide (Instituto de Astrofísica de Canarias, Tenerife) el 14 de diciembre del año 2013. El radiante está localizado en la constelación del Dragón (fuera de campo).

Los enjambres de meteoroides están asociados a cometas (o asteroides). Después de la gran lluvia con radiante en la constelación del León (Leónidas) de 1833, Olmsted y Twlning,

de Newhaven, reconocieron (1834) que la existencia de un radiante podía explicarse suponiendo que un enjambre de corpúsculos (meteoroides) se movía alrededor del Sol en una órbita regular, análoga a la de un cometa, y que esta órbita era atravesada por la Tierra.

Nombre	Fecha	Velocidad [Km/h]	Frecuencia [ZHR, met/h]	Objeto Generador
Quadrántidas	3 enero	41	120	
Líridas	22 abril	49	18	Comet1861 I Thatcher
Eta Acuáridas	6 mayo	66	55	P/Halley
Líridas	June 16	43	3	
Delta Acuáridas	July 30	41	16	
Alpha Capricornidas	July 30	23	5	P/Honda-Mrkos-Pajdusakova
Iota Acuáridas	Aug. 5	34	15	
Delta Acuáridas	Aug. 12	42	20	
Perseídas	Aug. 13	59	100	P/Swift-Tuttle
Iota Acuáridas	Aug. 20	31	15	
Aurígidas	Sept. 1	66	6	
Dracónidas	Oct. 8	20	10	P/Giacobini-Zinner
Orionidas	Oct. 21	66	20	P/Halley
Tauridas Sur	Nov. 4	29	10	P/Encke
Taurids Norte	Nov. 12	29	5	P/Encke
Leónidas	Nov. 17	71	15	P/Tempel-Tuttle
Gemínidas	Dec. 14	35	120	Phaeton
Ursidas	Dec. 22	33	10	P/Tuttle

Tabla 1: Principales Lluvias de Meteoros (datos actualizados)

para el año 2014).

4 – Metodología

La altura a la que se forma un meteoro puede ser calculada a partir de fotografías realizadas por dos observadores separados entre sí (1 kilómetro es suficiente). Cada observador verá el mismo meteoro proyectarse sobre un fondo de estrellas ligeramente diferente. Esta separación angular puede medirse, y conociendo la distancia entre ambos observadores (mediante su ubicación en un mapa o con GPS), podrá calcular la altura a la que se formó el meteoro.

4.1 Método del paralaje. Caso general.

Llamemos O_1 y O_2 a la posición de cada observador (ver figuras 2). Estarán separados por una distancia d conocida. Podemos aproximar esta separación d a una línea recta (unos pocos kilómetros en relación a la circunferencia terrestre). Al observar el mismo meteoro M , éste se proyectará sobre un fondo de cielo diferente, originando un ángulo α que puede medirse (paralaje).

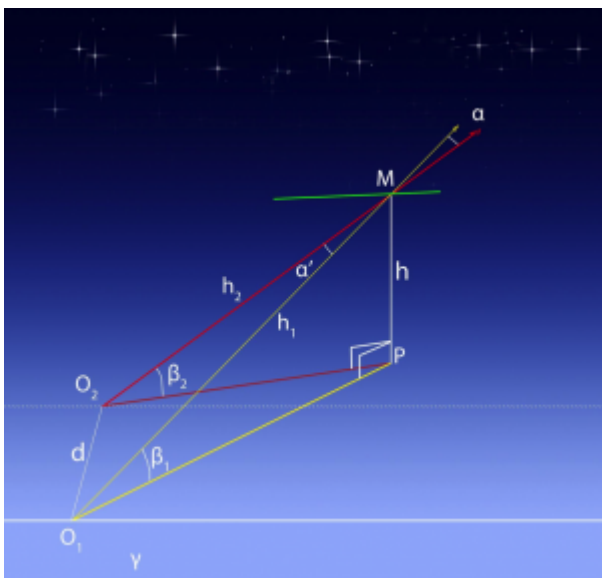


Figura 2: Cálculo de la altura de formación de un meteoro por paralaje o triangulación (detalles en el texto). Gráfico M. Serra-Ricart & J.C. Casado.

En los triángulos rectángulos se cumple:

triángulo rojo:

$$O_1 - P - M \Rightarrow \sin\beta_1 = \frac{h}{h_1} \Rightarrow h_1 = \frac{h}{\sin\beta_1} \quad [1]$$

triángulo amarillo:

$$O_2 - P - M \Rightarrow \sin\beta_2 = \frac{h}{h_2} \Rightarrow h_2 = \frac{h}{\sin\beta_2} \quad [2]$$

Aplicando el teorema del coseno al triángulo O_1-O_2-P tenemos:

$$d^2 = h_1^2 + h_2^2 - 2h_1h_2\cos\alpha \quad [3]$$

sustituyendo h_1 , h_2 según [1] y [2] y despejando h nos queda:

$$h = d / \sqrt{\frac{1}{\sin^2\beta_1} + \frac{1}{\sin^2\beta_2} - \frac{2\cos\alpha}{\sin\beta_1\sin\beta_2}} \quad [4]$$

4.2 – Método del paralaje. Caso coplanarios.

En este caso suponemos que los Observadores y el meteoro están en el mismo plano, es decir, los acimudes del meteoro y O_2 son aproximadamente los mismos vistos desde O_1 . Representamos el esquema en la figura 3.

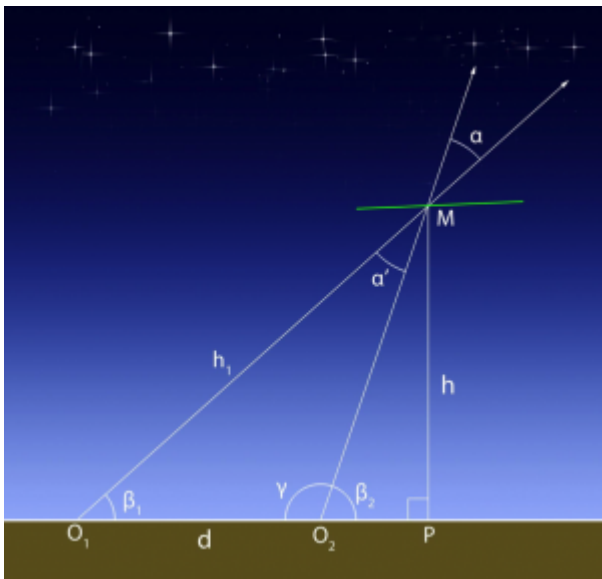


Figura 3: Cálculo de la altura de formación de un meteoro por paralaje o triangulación para la aproximación coplanaria (detalles en el texto). Gráfico J.C. Casado.

Por semejanza de triángulos, el ángulo α' formado por los vértices del triángulo O_1-M-O_2 es igual al ángulo α que es el paralaje. Queremos hallar la altura h del meteoro, que es la perpendicular a la superficie (línea O_1-O_2). Los ángulos β_1 y β_2

son conocidos, ya que son la altura del meteoro respecto al horizonte (que coincide con la altura de las estrellas sobre las que se proyecta) vistos por los observadores O_1 y O_2 , respectivamente. En el triángulo O_1 -M- O_2 se cumple la relación (Teorema del seno):

$$\frac{h_1}{\sin \gamma} = \frac{d}{\sin \alpha} \quad [5]$$

Despejando h_1 en [1] tenemos:

$$h_1 = d \times \frac{\sin \gamma}{\sin \alpha} \quad [6]$$

Ahora podemos resolver el triángulo rectángulo O_1 -M-P y hallar la altura h :

$$\sin \beta_1 = \frac{h}{h_1} \quad [7]$$

De donde se obtiene la altura h sustituyendo h_1 en [2] y sabiendo que $\sin \gamma = \sin (\pi - \beta_2) = \sin \beta_2$:

$$h = d \times \frac{\sin \beta_1 \cdot \sin \beta_2}{\sin \alpha} \quad [8]$$

4.3 – Método del paralaje. Observaciones en el Cenit.

Vamos a suponer que un meteoro se forma justo en el cenit del observador O_1 (ver figura 4).

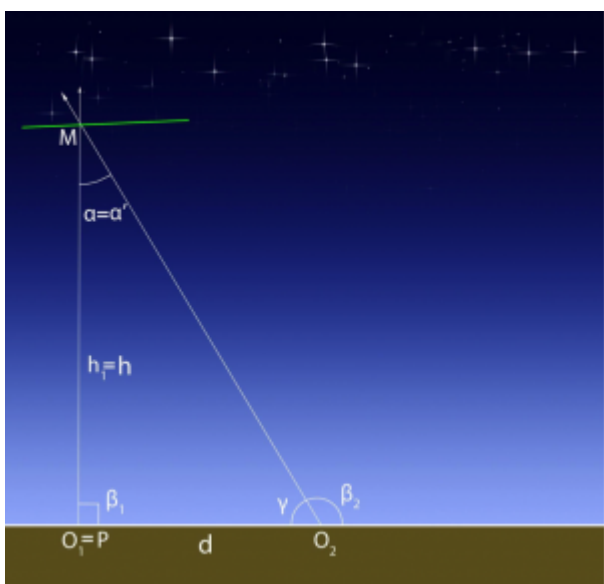


Figura 4: Cálculo de la altura de formación de un meteoro por paralaje o triangulación con la aproximación de observaciones en el Cenit (detalles en el texto). Gráfico J.C. Casado.

En este caso aplicando simple trigonometría en el triángulo rectángulo O_1-M-O_2 podemos deducir:

$$\tan\alpha = \frac{d}{h} \Rightarrow h = \frac{d}{\tan\alpha} [9]$$

Podemos deducir la fórmula anterior a partir de la coplanaria [8] y conociendo que $\beta_1 = \pi / 2$ y $\beta_2 = \pi - \gamma$ sustituyendo en [4] tenemos:

$$h = d \times \frac{\sin \beta_1 \cdot \sin \beta_2}{\sin \alpha} = d \times \frac{\sin(\frac{\pi}{2}) \cdot \sin(\pi - \gamma)}{\sin \alpha}$$

pero sabemos que los ángulos de un triángulo suman 180 grados, por tanto, en el triángulo rectángulo O_1-M-O_2 se cumple $\alpha + \gamma + \pi / 2 = \pi \Rightarrow \gamma = \pi / 2 - \alpha$ y sustituyendo en [10] quedará:

$$h = d \times \frac{\sin(\frac{\pi}{2} - \alpha)}{\sin \alpha} = d \times \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = \frac{d}{\tan \alpha} [11]$$

4.4 Ejemplos

Para realizar la Actividad se dispone de observaciones, con doble estación, de varias lluvias de estrellas. Las imágenes se encuentran en la dirección FTP:

Imágenes meteoros ([Directorio FTP](http://goo.gl/6B25le), <http://goo.gl/6B25le>)

El nombre de los directorios indica la lluvia. Actualmente se dispone de:

perseids2012 – Perseidas 2012 (Agosto 2012)

Puntos de observación Telescopio THEMIS y Residencia (separación 647m, altura 2380m).

geminids2012 – Gemínidas 2012 (Diciembre 2012)

Puntos de observación Telescopio THEMIS y Residencia (separación 647m, altura 2380m).

geminids2013 -Gemínidas 2013 (Diciembre 2013)

Puntos de observación Telescopio OGS y Residencia (separación 379m, altura 2380m).

geminids2014 -Gemínidas 2014 (Diciembre 2014)

Puntos de observación Telescopio MONS y TAD (separación 351m, altura 2380m).

En los nombre de los ficheros de las imágenes se ha incluido la información del lugar de observación y la fecha (día y hora). Así por ejemplo la imagen:

the-13122012-222612.jpg

the → observación realizada desde el telescopio THEMIS, Observatorio del Teide.

13122012 → observación realizada el 13 diciembre del año 2012.

222612 → observación realizada a las 22 horas 26 minutos 12 segundos.

El proceso para el cálculo de la altura de los meteoros es el siguiente:

- 1.- Buscar, para una lluvia determinada, imágenes coincidentes.
- 2.- Una vez identificadas las imágenes dobles de los mismos meteoros deben extraerse las áreas alrededor de los meteoros (ver figura 5) obteniendo imágenes reducidas.
- 3.- El siguiente paso será calibrar astrométricamente las imágenes reducidas a partir de las estrellas de campo (ver **ref4** y **ref5**).
- 4.- Finalmente buscaremos el punto de más intensidad luminosa en la traza del meteoro (pueden extraerse curvas de luz a lo largo de la traza del meteoro) en las imágenes reducidas.
- 5.- A partir de la calibración astrométrica de las imágenes podemos deducir la AR (Ascensión Recta) y DEC (Declinación) de los máximos de luz de los meteoros y aplicar las fórmulas del apartado 4 para el cálculo de la altura. Debemos recordar que es necesario conocer las coordenadas exactas de los observadores, su altura respecto al nivel del mar y la hora exacta de la observación.



Figura 5: Imágenes tomadas en el día 13 de diciembre 2012 a las 22:25 (Gemínidas) desde dos puntos separados 700m en el Observatorio del Teide (Residencia-Telescopio solar THEMIS). Gráfico J.C. Casado & M. Serra-Ricart.

5 – Referencias

ref1. IMO- International Meteor Organization (imo.net).

ref2. SOMYCE- Sociedad de Observadores de Meteoros y Cometas de España (somyce.org/).

ref3 – Astrométrica (astrometrica.at)

ref4 – Astrometry.net (nova.astrometry.net)