



## ▀ CÁLCULO DE DISTANCIAS ASTRONÓMICAS

El cuerpo celeste más próximo a nosotros es la Luna. Los 384 000 kilómetros que nos separan de ella son una distancia muy poco cósmica: cualquier conductor profesional la recorre varias veces a lo largo de su vida y cualquier piloto de avión, muchas veces. No sin razón es el único objeto celeste visitado por el hombre (julio de 1969).

La Tierra es uno de los planetas del Sistema Solar. El más lejano, Neptuno, se encuentra a una distancia media de unos 4 000 millones de kilómetros. Un avión de los más rápidos tardaría más de 70 años en recorrerla.

El Sol es una de las más de cien mil millones de estrellas que tiene nuestra galaxia, la Vía Láctea, cuyo diámetro, de 120 000 años luz, es tan inconcebible, que para representarlo nos valdremos de la siguiente imagen: si la Vía Láctea fuera de grande como la Tierra, el Sistema Solar cabría en la palma de tu mano y el Sol, nuestro arrogante Sol, sería la punta de un alfiler.

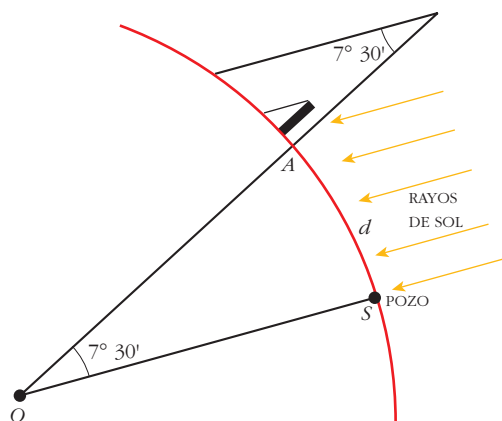
A mediados del siglo XIX se averiguó que nuestra galaxia no era la única. Hoy se sabe que hay miles de millones de galaxias que distan unas de otras miles de millones de años luz.

El conocimiento del Universo y, en consecuencia, el cálculo de las distancias a los cuerpos celestes, ha sido, desde la Antigüedad, una obsesión y un reto a la inteligencia.

Actualmente existen métodos físicos altamente sofisticados e instrumentos de observación y medición sumamente precisos con los que se sondan lejanas galaxias. Sin embargo, es muy interesante prestar atención a algunos de los sencillos métodos trigonométricos con los que se han afrontado, desde épocas remotas, algunos de estos problemas.

### El radio de la Tierra

El sabio griego Eratóstenes (siglo III a. C.), sabía que en un cierto lugar, Siena, muy al sur de Alejandría, un cierto día del año, al mediodía, el Sol iluminaba el fondo de los pozos, hecho insólito en lugares situados más al norte. Este hecho le inspiró la siguiente forma de medir el radio de la Tierra:



A y S están en el mismo meridiano.

Si el Sol ilumina el fondo de los pozos es porque, en ese instante y lugar, los rayos del Sol son perpendiculares a la Tierra. El ángulo que forman los rayos del Sol con una estaca vertical colocada en Alejandría es el mismo que el que forman los dos radios de la Tierra, OA y OS, en Alejandría y en Siena. Eratóstenes mandó medir la distancia  $d$  entre A y S y mediante una proporción, calculó la longitud del meridiano y, por tanto, el radio de la Tierra:

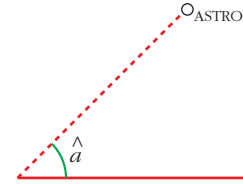
$$\frac{7^\circ 30'}{d} = \frac{360^\circ}{2R} \rightarrow R = \frac{360^\circ}{7^\circ 30'} \cdot \frac{d}{2\pi}$$

El valor que obtuvo para  $R$  fue una buena aproximación de la medida real: 6366 km.

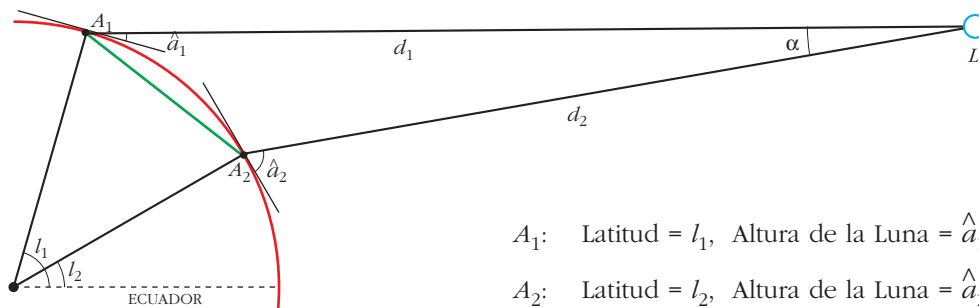


## Distancia de la Tierra a la Luna

Se llama *altura* de un astro (en un lugar y en cierto instante) al ángulo,  $\hat{a}$ , que forma con la horizontal la visual lanzada al astro. Cuando una estrella está en el horizonte, su altura es  $0^\circ$  y si está en el cenit, su altura es de  $90^\circ$  (el cenit de cada lugar es el punto situado en la vertical).



Desde dos lugares,  $A_1$  y  $A_2$ , de la Tierra, situados en el mismo meridiano, se mide la altura de la Luna en su paso por ese meridiano. (Si  $A_1$  y  $A_2$  están en el hemisferio norte, el paso por el meridiano se localiza en la dirección sur).



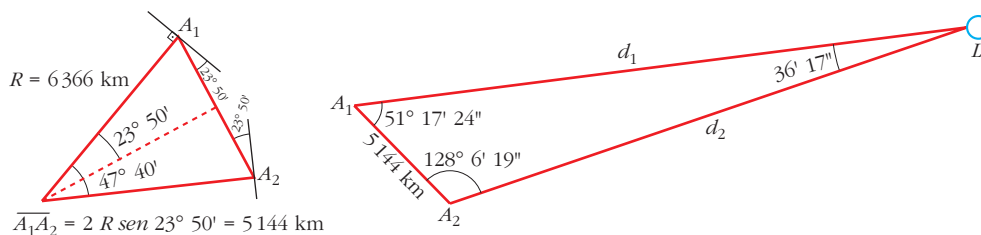
Conociendo las latitudes,  $l_1$  y  $l_2$ , y las alturas,  $\hat{a}_1$  y  $\hat{a}_2$ , y puesto que  $\overline{A_1A_2}$  se calcula a partir del radio  $R$  de la Tierra, se pueden obtener  $d_1$  y  $d_2$ . (Teóricamente,  $d_1$  y  $d_2$  son distintas, pero, en la práctica, cualquiera de ellas es una buena aproximación de la distancia Tierra-Luna).

Por ejemplo, si

$$l_1 = 77^\circ 40' \quad l_2 = 30^\circ$$

$$\hat{a}_1 = 27^\circ 27' 24'' \quad \hat{a}_2 = 75^\circ 43' 41''$$

obtenemos:



Aplicando el teorema de los senos, se obtiene:

$$d_2 = 5144 \cdot \frac{\text{sen } 51^\circ 17' 24''}{\text{sen } 36' 17''} = 380320$$

$$d_1 = 5144 \cdot \frac{\text{sen } 128^\circ 6' 19''}{\text{sen } 36' 17''} = 383516$$

Ambas son buenas aproximaciones de la distancia de la Tierra a la Luna (384 000 km, aproximadamente).



## Cálculo de distancias a estrellas próximas

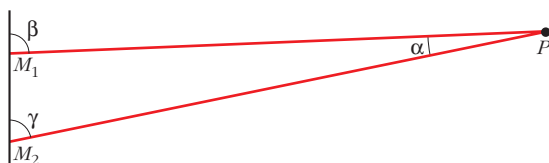
La distancia de la Tierra al Sol (150 millones de kilómetros), puede obtenerse por un procedimiento similar al que se ha descrito para calcular la distancia a la Luna.

Después del Sol, la estrella más próxima a la Tierra ( $\alpha$ -Centauri) está a 4,3 años luz, una distancia enorme para ser calculada construyendo triángulos con un lado sobre la Tierra. Para entender el método que se describe después, veamos el concepto de paralaje.

### LA PARALAJE

La visión en relieve es posible gracias a que tenemos dos ojos. Con cada ojo vemos un panorama algo distinto que con el otro (compruébalo guiñando alternativamente uno y otro). En el cerebro se funden automáticamente ambas imágenes y se interpretan como visión en relieve, es decir, las cosas se ven en una dirección y a una distancia.

Para poder apreciar, mediante métodos ópticos, la distancia a que nos encontramos de un cierto objeto, necesitamos dos puntos de vista. Cuanto más separados estén los dos, mejor es la información que se obtiene para calcular distancias a otro lugar. Nuestros dos ojos están demasiado cerca uno del otro para poder apreciar distancias, no ya astronómicas, sino siquiera de objetos situados a más de 100 metros de nosotros.



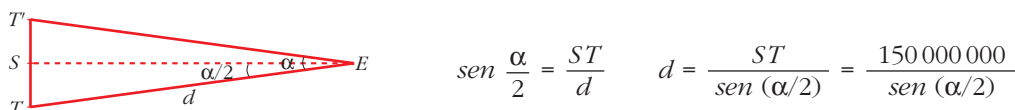
Para calcular la distancia de  $M_1$  a  $P$  se requiere, pues, otro punto de mira,  $M_2$ . Las direcciones de las visuales,  $\beta$  y  $\gamma$ , son distintas. El ángulo  $\alpha = \beta - \gamma$  se llama **paralaje** de  $P$  desde  $M_1$ .

El cálculo de distancias astronómicas requiere dos puntos de mira,  $M_1$  y  $M_2$ , suficientemente lejanos para obtener mediante las visuales  $\beta$  y  $\gamma$  una paralaje  $\alpha$  no demasiado pequeña. (La paralaje obtenida para la Luna en el apartado anterior, desde dos puntos de la Tierra, ha sido de  $36' 17''$ ).

¿Cómo conseguir pares de puntos de mira suficientemente lejanos para que sirvan de base para calcular la distancia a una estrella? La Tierra, en su movimiento alrededor del Sol, describe una órbita cuyo diámetro es de 300 millones de kilómetros. Si se realizan observaciones a una estrella en dos puntos diametralmente opuestos (con 6 meses de diferencia), se pueden conseguir, para algunas estrellas próximas, paralajes de casi  $1''$ .

### Procedimiento

Para medir la paralaje,  $\alpha$ , de una estrella  $E$ , se realizan observaciones desde la Tierra cuando esta pasa por  $T$  y por  $T'$ , puntos diametralmente opuestos respecto al Sol y tales que  $\overline{T'E} = \overline{TE}$ . El triángulo  $TET'$  es, pues, isósceles.



Por ejemplo, si  $\alpha = 1''$ , se obtiene  $d = 6,2 \cdot 10^{13} \text{ km} = 6,5 \text{ años-luz}$ .

### EJERCICIO

Aparte de la Luna y el Sol, los objetos celestes que se nos presentan con más brillo son planetas: Venus, Marte y Júpiter. Después de ellos, el astro más brillante es la estrella Sirio. Observándola con seis meses de diferencia, presenta una paralaje de  $0,72''$ . ¿A qué distancia se encuentra?