

22 - MEDICIÓN DE DISTANCIAS ASTRONÓMICAS (De la Tierra a la Luna)

Vivimos grandes tiempos: el más pequeño de los yates puede estar equipado con la más completa electrónica de navegación, que ofrece información muy precisa y permite gobernar dicho barco con la máxima seguridad.

Todo esto no surgió de la noche a la mañana, sino que fue un desarrollo de conocimientos acumulados a lo largo de los siglos durante miles de años. ¿No se dice que los neandertales ya intuían la precesión de los equinoccios?

Personalmente, me he preguntado durante mucho tiempo cómo el cerebro humano se las ha arreglado para encontrar formas de determinar nociones que hoy nos parecen de la más plana banalidad. Un ejemplo típico es la determinación de la distancia de la Tierra a la Luna o de la Tierra al Sol.

Otros han explicado muchos enfoques y métodos fantásticos mejor que yo. Con estas líneas, sólo quiero esbozar el resultado de mis reflexiones e investigaciones sobre esta evolución que permitió a un bípedo determinar tales medidas astronómicas.

Pitágoras

En primer lugar, era necesario admitir la esfericidad de la Tierra, que no era evidente. A menudo se atribuye este supuesto al inventor del cuadrado de la hipotenusa, Pitágoras, en el siglo VI a.C. El científico aceptó la esfericidad y la rotación de la Tierra para explicar los días y las noches.

Platón y Aristóteles

Un siglo después, estos dos filósofos-matemáticos también admitieron que la Tierra era redonda, pero para ellos la Tierra estaba inmóvil, en el centro del universo. No fue hasta Aristarco de Samos que se propuso la rotación de la Tierra sobre su eje, pero el erudito fue acusado de perturbar el reposo de los dioses con esta opinión. Se dice que Aristóteles, en su obra "Tratado del Cielo", dijo: "Por eso no parecen profesar una opinión tan increíble los que creen que hay una continuidad entre la región que rodea las Columnas de Hércules y la de las Indias, y que hay un solo mar". 20 siglos después, Cristóbal Colón lo confirmaría.

Eratóstenes

Fue alrededor del año 200 a.C. cuando calculó el tamaño de la Tierra (véase mi texto sobre este tema, 62 - Medición de la circunferencia terrestre). Llegó a una cifra casi exacta, algo menos de 40.000 kilómetros.

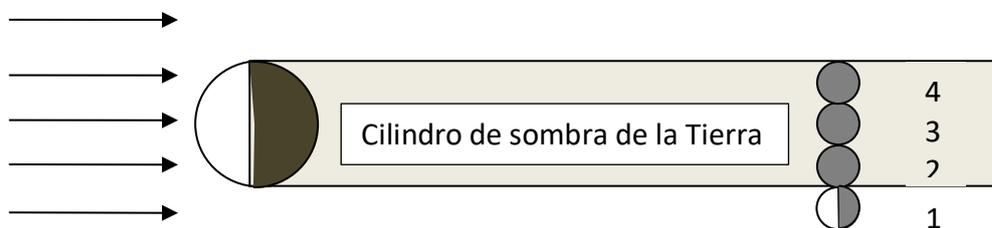
Aristarco

Parece aceptado que fue Aristarco de Samos (310 - 230 a.C., cuando se construyó el faro de Alejandría) quien intentó determinar la distancia entre la Tierra y la Luna, utilizando la observación de los eclipses lunares. Pero veamos cómo lo hizo.

Ni que decir tiene que en aquella época no había calculadoras, ni siquiera tablas de logaritmos, y que no se utilizaba ni el metro ni el grado para hacer mediciones. En este artículo, sin embargo, utilizaremos estas unidades actuales, que son más accesibles para todos, en primer lugar para el que suscribe.

- Aristarco tenía la intuición del movimiento de la Tierra sobre sí misma y alrededor del Sol, así como la de la esfericidad de nuestro planeta.
- Su hipótesis era que la sombra de la Tierra podía considerarse cilíndrica (en realidad es un cono).
- El científico también señaló que durante un eclipse central (los respectivos centros del Sol, la Tierra y la Luna están alineados), la Luna permanece en la zona de sombra durante algo más de dos horas.
- La observación le permite decir que nuestro satélite natural se desplaza en una hora una distancia aproximadamente igual a su diámetro aparente.
- La duración de la lunación es de 29,5 días (período sinódico, es decir, desde una luna llena hasta la siguiente).

A partir de estos diversos elementos, concluyó en primer lugar que como la Luna permanece enteramente en el cilindro de sombra de la Tierra durante dos horas, el diámetro de este cilindro es igual a tres veces el de la Luna y que el diámetro de la Tierra es, por tanto, tres veces mayor que el de la Luna (en realidad 3,7 veces mayor).



Rayos solares

- 1 = La Luna entra en el cono de sombra
- 2 = Después de 1 hora, la Luna está eclipsada
- 3 = La Luna avanza un diámetro en 1 hora
- 4 = Después de 2 horas de eclipse total, la Luna sale del cono de sombra

En una segunda fase, supone que el ángulo con el que se ve la Luna desde la Tierra es de 2° (en realidad medio grado).

Sabiendo que el diámetro de la Luna es 1/3 del diámetro de la Tierra y combinando los dos elementos, Aristarco concluye que el arco del diámetro de la Luna en la órbita lunar (2°) representa una distancia de un tercio del diámetro de la Tierra.

Por lo tanto, dado que 2° de arco miden 4267 km (1/3 de los 12800 km utilizados por Eratóstenes como diámetro de la Tierra), la circunferencia total de la órbita de la Luna (360°) vale 180 veces más, es decir, 768'000 km.

Por lo tanto (dividiendo por Pi), obtenemos un diámetro de la órbita lunar de 244,461 km, por lo que el radio (que representa la distancia de la Tierra a la Luna) es de 122,230 km.

Expresado de otra manera, también podemos decir que si 2° de arco representan 1/3 del diámetro de la Tierra, los 360° de la circunferencia representan sesenta diámetros de la Tierra ($360/2*3$, o $360/6$). La distancia entre la Tierra y la Luna representa así ($60/\pi$), unos 20 diámetros terrestres.

El procedimiento es muy ingenioso, pero los cálculos de Aristarco adolecen de varias imprecisiones:

- En primer lugar, el diámetro angular de la luna está sorprendentemente sobrestimado (2° en lugar de $0,5^\circ$).
- Además, el valor de Pi todavía no era muy preciso en la época de Aristarco.
- Los cálculos se basan en una velocidad de movimiento de la Luna que tiene en cuenta el periodo sinódico (29,5 días) y no el periodo sideral (27,3 días).
- Por último, se supone que la sombra de la Tierra es cilíndrica, cuando en realidad es cónica.

Hiparco

Unos años más tarde, en el 167 a.C., otro científico griego, Hiparco de Nicea (190 a 120 a.C.), realizó un cálculo más preciso, utilizando bases ligeramente diferentes:

- El comprobó que durante los eclipses lunares centrados, el radio de la sombra de la Tierra que se dibuja en la superficie de la Luna es 2,5 veces mayor que el de la Luna.

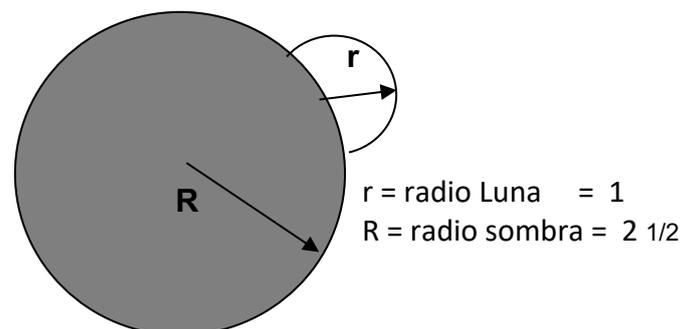
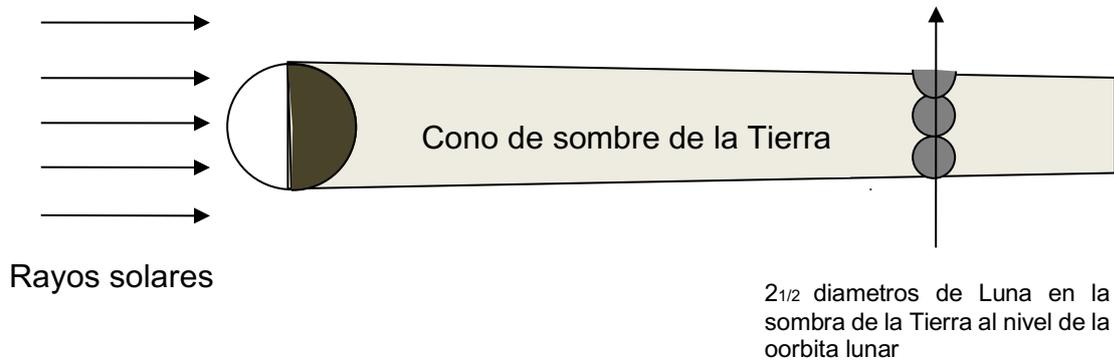


Foto de la sombra de la Tierra sobre la Luna

- La Tierra es redonda.
- El periodo de desplazamiento de la Luna en la sombra de la Tierra es de 2,5 horas.
- La duración de la lunación es de 29,5 días (período sinódico).
- El diámetro aparente del sol es de $0,50^\circ$ o 30 minutos de arco
- No tiene en cuenta la paralaje de la Tierra con respecto al Sol ($p = 0,002^\circ$)

El método de Hiparco es prácticamente trigonométrico y consiste en encontrar una relación geométrica entre el diámetro angular "b" de la sección del cono de sombra de la Tierra, el diámetro angular "a" del Sol y la paralaje " π " de la Luna.



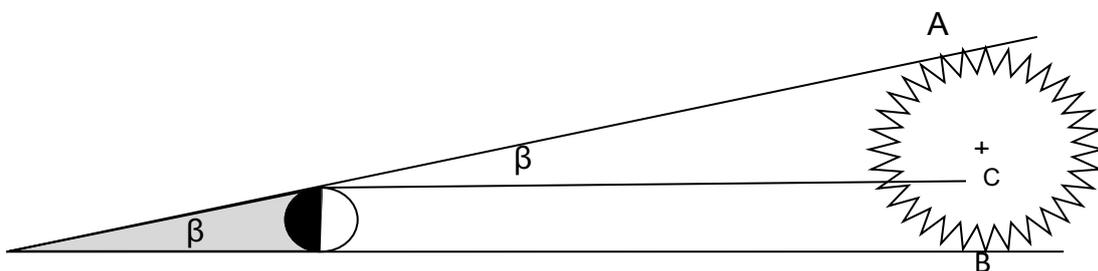
Hiparco comprobó que la duración de un eclipse central (el más largo) es del orden de 2,5 horas, mientras que la Luna recorre toda su órbita, es decir, un ángulo de 360° , en un período de 29 días y 12 horas (revolución sinódica), es decir, 708 horas.

Por una simple regla de tres, calcula que si la Luna hace 360° en 708 horas, en 2 horas y 30 minutos se desplaza $1^\circ 16'$ o $1,27^\circ$.

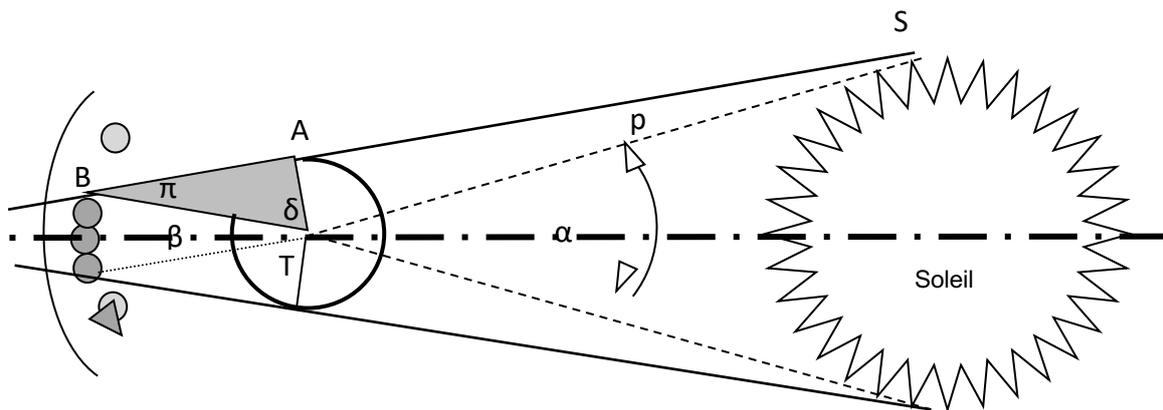
Admite que el Sol está tan lejos que el ángulo del cono de sombra puede considerarse igual o confundirse con el diámetro aparente del Sol.

En efecto, si observamos la figura siguiente, podemos admitir que los puntos "C" y "B" pueden fusionarse, porque el diámetro del Sol es, de hecho, cien veces mayor que el de la Tierra.

Por Tales, vemos que el ángulo β del cono es igual al diámetro aparente del Sol.



Acompañemos ahora a Hiparco en su planteamiento geométrico mediante la figura que se muestra a continuación, advirtiéndole que no está a escala:



Para los que les gustan las matemáticas:

El ángulo AST es lo que se llama la paralaje "p" del Sol. Este es el ángulo en el que la Tierra se vería desde el Sol.

Hiparco descuidó o ignoró esta paralaje y aceptó el ángulo TAS a 90° .

Hoy sabemos que la paralaje del Sol es de ocho segundos de arco. El error es, por tanto, de $(8 / 1800) 0,4\%$, una aproximación muy aceptable.

Se puede observar, mirando la parte superior de la figura anterior, por encima del eje de simetría, que la suma de los ángulos $\alpha/2 + \beta/2 + \delta$ + el ángulo ATS (90°) = 180° .

- Se ha supuesto que el diámetro angular del sol, α , es = $0,5^\circ$.

- El diámetro angular β del cono de sombra se obtuvo midiendo la duración de un eclipse total central y se supuso que era de $1^\circ.27$.

Hiparco llega así a un valor de δ (complemento de la paralaje de la Luna, π , que representa: $90^\circ.000 - 0^\circ.250 - 0^\circ.635 = 89^\circ.115$ (o 89° y $07'$)).

Con un poco de trigonometría, nuestro erudito concluye que:

- En el triángulo ABT (sombreado) vemos que: $TA / TB = \cos \delta$ ($89^\circ,115$) o $0,016$

- TA / TB es también la relación entre el radio de la Tierra (TA) y la distancia de la Tierra a la Luna (TB).

Para los que no son matemáticos:

La conclusión es que la relación es TB/TA o $1 / \text{coseno } \delta$, que es $1/0,016 = 62,5$.

Por tanto, la luna está a 62,5 radios terrestres, es decir, $(62,5 \times 6400)$ 400.000 km.

Observaciones generales

No hay que olvidar que en aquella época, hace más de 2000 años, no existían las tablas trigonométricas que tenemos hoy en día y que en la antigüedad griega la única medición que los científicos podían hacer con cierta precisión era la del tiempo.

La velocidad orbital de la Luna se calculó sobre la base del período sinódico y no sobre la base del valor sideral (u orbital, tiempo de una revolución de la Luna alrededor de la Tierra). La velocidad angular pasa de $0^\circ.508/h$ a $0^\circ.549/h$.

No es fácil determinar cuándo la Luna entra y sale de la sombra de la Tierra, ni tampoco es fácil determinar el radio de la sombra de la Tierra sobre la Luna.

La órbita de la Luna no es circular sino elíptica.

Como he señalado en otros artículos, la Luna es un astro complejo con muchas variables durante los ciclos.

Los eclipses centrales del 100% son raros.

La comparación de los resultados de Hiparco con la realidad media se muestra en la siguiente tabla y demuestra la increíble precisión obtenida por este científico, teniendo en cuenta las posibilidades de la época.

Dimensión	"verdadera"	"Hiparco"
Diámetro de la Tierra	12'742 km	12'400 km
Diámetro de la Luna	3474 km	3480 km
Distancia Tierra-Luna	384'400 km	400'000 km
Duración del eclipse	2h 40 min	2h 30 min
Diámetro del sol	32 minutos de ángulo	30 minutos de ángulo

Un resultado impresionante de estos antiguos científicos, que también construyeron instrumentos tan sofisticados como el mecanismo de Anticitera, un ordenador celeste que reproduce el ciclo de Metón y las fases de la Luna.

¿Cómo entender entonces el dramático retroceso durante los siglos oscuros de nuestra civilización que siguieron a estos grandes descubrimientos?

En 1492, las fuentes de Cristóbal Colón le dijeron que la Tierra era una esfera y que se podía ir a las Indias navegando hacia el oeste.

Pero todo el mundo sabe también que en 1633 la Inquisición llevó a Galileo a juicio por haber afirmado que la Tierra giraba sobre sí misma y que no estaba en el centro del mundo... ¡"E pur si muove!" o "¡Eppur si muove!" (¡y sin embargo se mueve!) dijo al salir del juicio.

Fue un triste período durante el cual el mundo occidental se empobreció bajo el yugo del Santo Oficio. Tuvimos que esperar más de tres siglos para que Galileo fuera rehabilitado en 1992... por lo que se nos presentó como un simple "malentendido".

P.-A. Reymond ©

05-03-2014 / 2019 / 2021

Leer: Les Planètes, de Daniel Benest, Ed.Seuil 1998, ISBN 202022951 X

Véase: www.astro-rennes.com

Traducido por www.DeepL.com/Translator (y revisado)