

La Tierra y la Luna.

José Antonio García-Barreto

*Instituto de Astronomía,
Universidad Nacional Autónoma de México,
Apdo Postal 70-264, México D.F. 04510, México;
tony@astroscu.unam.mx*

Marzo 2006

1 La Tierra y la Luna

La explicación de las fases de la Luna y los eclipses de Sol fueron descritos por Aristóteles (384 a 322 Antes de Cristo, A.C.) aunque se piensa que ya los había estudiado Anaxágoras antes de 430 A.C.

Aristóteles reconoció que la progresión de las fases de la Luna, es decir, el cambio de la región iluminada de la Luna durante el intervalo del mes, es el **resultado del hecho de que la Luna NO es una fuente de luz**, sino que sólo refleja la luz del Sol.

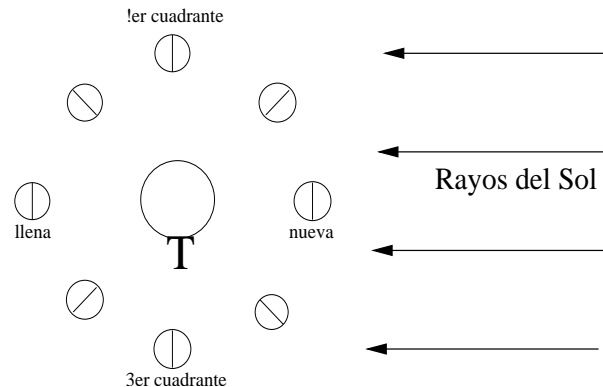


Figure 1: Sistema Tierra con Luna trasladándose a su alrededor y el Sol del lado derecho.

Debido a su forma esférica, sólo la mitad de la Luna es iluminada (la mitad que está frente al Sol). Entonces la forma aparente que presenta la Luna en el cielo **depende solamente** de cuánto de su lado iluminado podemos observar desde la Tierra.

Para que esta idea fuese correcta, los Griegos suponían que el Sol se encontraba a una mayor distancia de la Tierra que la Luna.

Este razonamiento está basado en:

1. El movimiento aparente del Sol frente a estrellas fijas (en las constelaciones): Qué constelación se observa justo cuando se mete el Sol en diferentes épocas del año?
2. Ocasionalmente (porqué no sucede cada mes?) la Tierra, la Luna y el Sol se encuentran en la misma línea imaginaria y la Luna intercepta la luz del Sol por completo: **Eclipses**.

Los eclipses de Sol no suceden cada mes porque el plano de la órbita de la Luna está inclinado $\sim 5^\circ$ con respecto al plano de la órbita de la Tierra alrededor del Sol.

2 La Forma Esférica de la Tierra

La forma esférica de la Tierra fué un tópico también estudiado por Aristóteles, y para la esfericidad de la Tierra tenía dos argumentos muy convincentes:

1. El primero es que durante un eclipse de Luna, mientras la Luna entra o sale de la sombra de la Tierra, la forma de la sombra vista sobre la Luna siempre es circular.

Sólo un objeto **esférico** produce una sombra circular. **Si la Tierra fuese un disco**, por ejemplo, **habría algunas ocasiones cuando el Sol estaría iluminando al disco de lado y la sombra sobre la Luna sería una línea.**

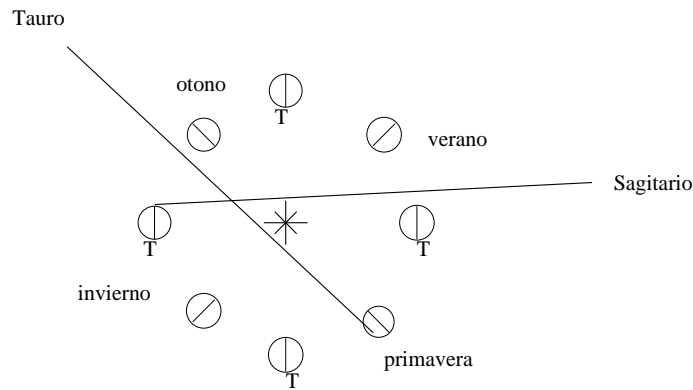


Figure 2:

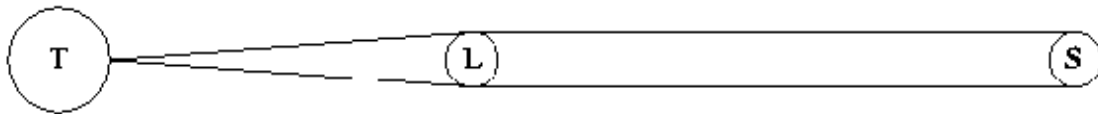


Figure 3:

- Un segundo argumento sería, dado por Aristóteles, que observadores del norte observaban estrellas que entraban en su horizonte al viajar hacia el norte (y que antes eran invisibles) y que otras estrellas desaparecían en el horizonte sureño.

Los observadores que van hacia el sur observarían el efecto opuesto: ver nuevas estrellas que eran invisibles cuánto más al sur viajan y dejan de ver estrellas en el horizonte hacia el norte.

La única explicación posible es que los horizontes de los viajeros han avanzado hacia el norte o hacia el sur, respectivamente, lo cual indica que debieron haberse movido sobre una esfera.

3 El Movimiento de la Tierra

Aristóteles también estudió la posibilidad de movimiento de la Tierra. Consideró que el movimiento aparente del cielo se podría explicar por una hipótesis de rotación de, ya sea la esfera celeste alrededor de la Tierra, o la rotación de la Tierra misma.

También consideró la posibilidad de que la Tierra se trasladara alrededor del Sol en vez de que el Sol se trasladara alrededor de la Tierra. El descartó la hipótesis heliocéntrica en base a un argumento que se ha utilizado muchas veces desde entonces. Aristóteles explicaba que si la Tierra era la que se movía alrededor del Sol observaríamos estrellas distintas (en diferentes regiones) a lo largo de la órbita de la Tierra y sus direcciones aparentes cambiarían continuamente durante el año.

Cualquier movimiento aparente en la dirección de un objeto como resultado del movimiento del observador se conoce como **Paralaje**.

Cualquier cambio anual en la dirección aparente de las estrellas que resulte del movimiento orbital de la Tierra alrededor del Sol se denomina **Paralaje estelar**.

Para estrellas cercanas se puede observar con telescopios, pero es casi imposible medirlo a simple vista debido a las grandes distancias aún de las estrellas más cercanas (αCen : $1.2 \text{ pc} \simeq$

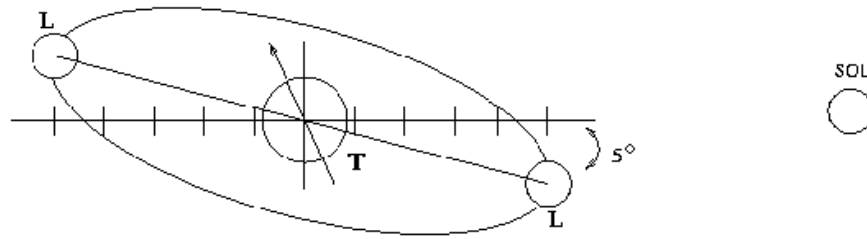


Figure 4:

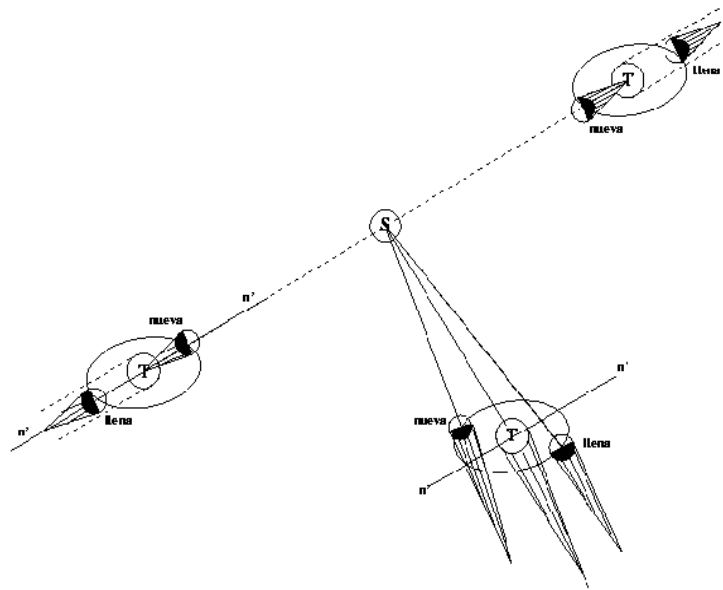


Figure 5:

3.7 años luz). Aristóteles por lo tanto no pudo "observar" ningún paralaje a simple vista y por lo tanto consideró que la Tierra era un objeto estacionario.

4 Distancia de la Tierra a la Luna y al Sol

Fue Aristarco de Samos (310-230 A.C.) el primer astrónomo famoso de la Escuela Alejandrina que diseñó un método ingenioso para encontrar la distancia relativa entre la Tierra, la Luna y el Sol.

Su procedimiento se basó en 3 suposiciones:

1. La Luna se mueve alrededor de la Tierra en una órbita perfectamente circular.
2. La velocidad orbital ($v(\phi)$) de la Luna es perfectamente uniforme.
3. El Sol, aunque más distante de la Tierra que la Luna, está a una distancia tan cercana que sus rayos viajan a lo largo de direcciones divergentes hacia diferentes regiones de la órbita de la Luna.

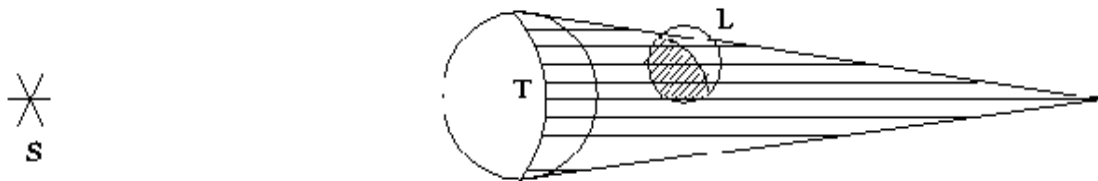


Figure 6:

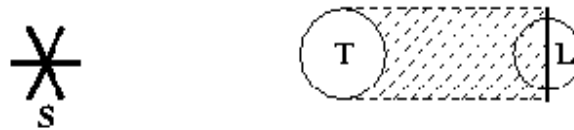


Figure 7:

Las tres suposiciones, sabemos ahora, son incorrectas:

1. La órbita de la Luna alrededor de la Tierra no es un círculo sino una elipse con la Tierra en uno de sus focos.
2. Su velocidad orbital ($v(\phi)$) y la distancia hacia la Tierra varían.
3. Ahora sabemos que la distancia del Sol hacia la Tierra es alrededor de 400 veces la distancia de la Luna a la Tierra, y por lo tanto los rayos del Sol hacia la Luna en sus diferentes posiciones alrededor de la Tierra son casi **paralelos**.

Sin embargo, en su momento nadie tenía o nadie había realizado observaciones tan precisas como para demostrar su invalidez y las suposiciones de Aristarco parecían perfectamente razonables.

El razonamiento de Aristarco era el siguiente:

La Luna aparece media iluminada (en el primer y tercer cuadrante) cuando la línea que divide la zona brillante de la oscura es una **línea recta perfecta** vista desde la Tierra. Pero la Luna es esférica y la línea divisoria sobre su superficie **debe ser curva**.

Así que la única posibilidad de que esa línea curva aparezca como línea recta es verla exactamente de lado (de perfil). Es decir, el **plano de la línea divisoria debe contener la línea de visión entre la Tierra y el centro de la Luna**.

Si eso es cierto, la línea desde la Luna hacia la Tierra **debe estar a ángulos rectos con respecto a la línea desde la Luna al Sol**.

Dado que el Sol NO se encuentra a una distancia infinita (una de las suposiciones de Aristarco), los puntos L_1 , T y L_2 no se encuentran a lo largo de una línea recta. Por lo tanto, si la Luna se mueve a una velocidad uniforme a lo largo de su órbita, le deberá tomar menor tiempo en ir de L_2 a L_1 que de L_1 a L_2 . La diferencia entre el tercer cuadrante y primer cuadrante, y del primer cuadrante al tercero, determina el ángulo L_2TL_1 .

Si los tiempos fueran iguales (de L_2 a L_1 igual que de L_1 a L_2), L_2TL_1 debería ser una línea recta y **el Sol debería localizarse muy, muy lejos**.

Si el tiempo entre L_1 y L_2 fuese el doble del tiempo entre L_2 y L_1 , entonces el ángulo L_2TL_1 será un tercio del círculo ó 120° .

Aristarco intentó observar los instantes exactos del primer y tercer cuadrante y determinar la diferencia entre los dos intervalos de tiempo. (Aún actualmente observar los instantes de los

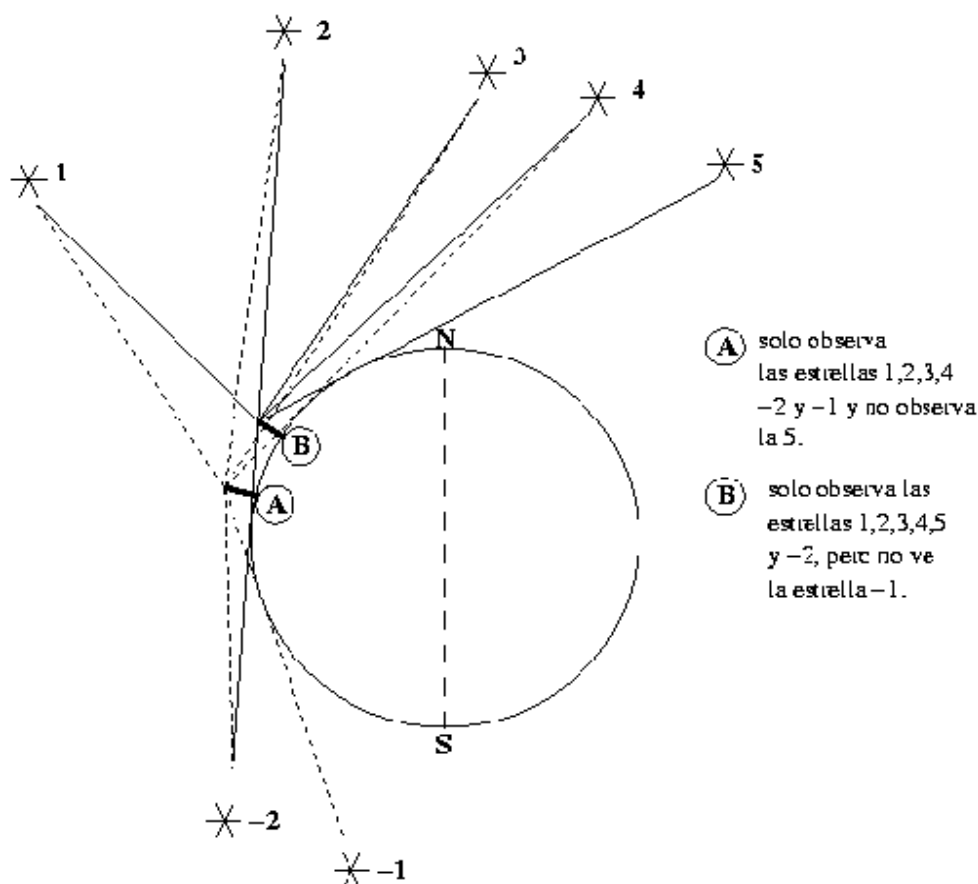


Figure 8:

cuadrantes de la Luna L_1TL_2 con suficiente exactitud es difícil debido a la gran distancia del Sol).

En la época de Aristarco, sin embargo, la órbita elíptica de la Luna debió haber estado de tal forma orientada con respecto al Sol, que la distancia que la Luna debía de moverse entre el primer y tercer fases del cuadrante (combinada con los efectos de la velocidad variable de la Luna) dió como resultado una diferencia observable entre los cuadrantes. Aristarco determinó que el intervalo entre el primer y tercer cuadrante era alrededor de 1 día más largo que el intervalo entre el tercer y primer cuadrante.

El ángulo L_1TL_2 podía entonces ser construido dentro de un círculo representado la órbita de la Luna. Las líneas L_1S y L_2S dibujadas en forma tangencial al círculo en L_1 y L_2 se intersectan en S de tal forma que este punto determina la posición del Sol y por lo tanto era posible determinar su distancia en términos del diámetro de la órbita de la Luna.

$$\tan \theta = \frac{TL_1}{SL_1} \tag{1}$$

$$ST = \sqrt{(TL_1)^2 + (SL_1)^2} = SL_1 \sqrt{\left(\frac{TL_1}{SL_1}\right)^2 + 1} \tag{2}$$

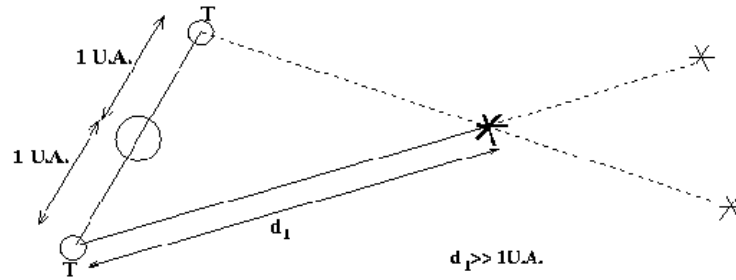


Figure 9:

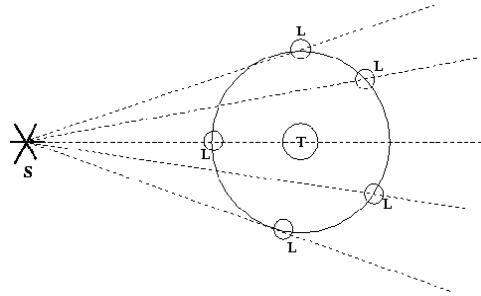


Figure 10:

$$ST = SL_1 \sqrt{\tan^2 \theta + 1} \tag{3}$$

$$\frac{ST}{SL_1} = \sqrt{1 + \tan^2 \theta} \tag{4}$$

$$\frac{ST}{SL_1} = \sqrt{\sec^2 \theta} \tag{5}$$

$$\frac{ST}{SL_1} = \sec \theta \tag{6}$$

$$L_2 \hat{L}_1 = 14 \text{ días}$$

$$L_1 \hat{L}_2 = 15 \text{ días}$$

$$29 \text{ días} \sim 360^\circ - 1 \text{ día} \sim 12^\circ.4 - 1/2 \text{ día} \sim 6^\circ.2$$

$$L_2 \hat{L}_1 \sim 168^\circ$$

$$\frac{L_2 \hat{L}_1}{2} \sim 84^\circ$$

$$TSL_1 \sim 3^\circ.1 \tag{7}$$

pero en términos del radio de la órbita de la Luna:

$$ST = TL_1 \sqrt{1 + \frac{1}{\left(\frac{TL_1}{SL_1}\right)^2}} \tag{8}$$

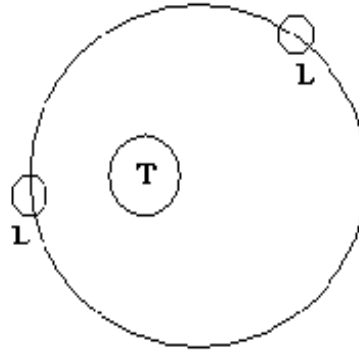


Figure 11:

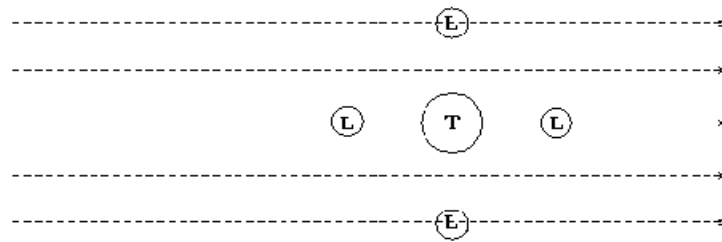


Figure 12:

$$ST = TL_1 \sqrt{1 + \frac{\cos^2 \theta}{\sin^2 \theta}} \tag{9}$$

$$ST = TL_1 \csc \theta \tag{10}$$

Si $\theta = 3^\circ.1$, $ST \simeq 10TL_1$.

Aristarco determinó que el Sol estaba a una distancia entre 18 y 20 veces la distancia de la Tierra a la Luna. Esta cifra fué aceptada por muchos siglos después por muchos estudiosos.

Aunque se sabe en la actualidad que esta distancia es cerca de 20 veces la distancia real entre el Sol y la Tierra, **sí mostró ser una distancia mucho mayor que la distancia de la Tierra a la Luna** y su método fué, sin lugar a dudas, un método científico.



Figure 13:

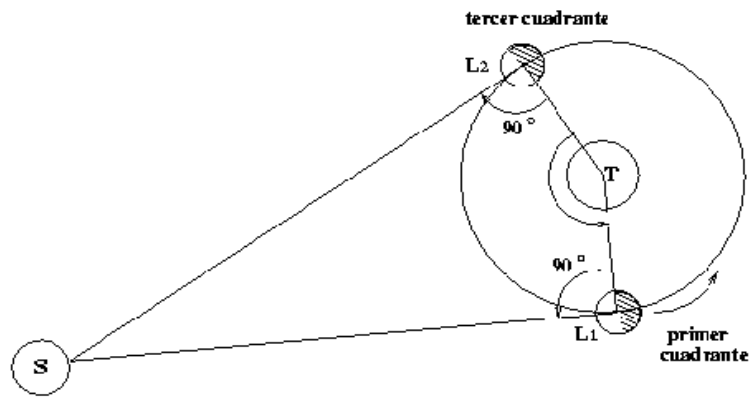


Figure 14:

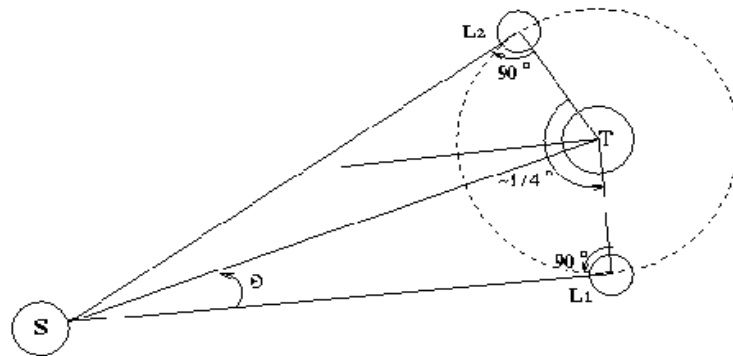


Figure 15:

Agradecimientos

JAGB desea agradecer a la alumna Tula Bernal Marín por la ayuda en la elaboración de las figuras y transcripción del texto manuscrito a este documento.

Bibliografía

Abell, G. 1969 *Exploration of the Universe*, Nueva York: Holt, Reinhart & Winston Press