

## El crepúsculo y el espesor de la atmósfera

Jesús Ruiz Felipe

Profesor de Física y Química. IES Cristóbal Pérez Pastor de Tobarra.

Centro de Profesores de Albacete. España

[jesusruiz@sociedadelainformacion.com](mailto:jesusruiz@sociedadelainformacion.com)

Si la Tierra no estuviera envuelta por la atmósfera, la luz desaparecería súbitamente al ponerse el Sol, tal y como acontece en la Luna y otros planetas que carecen de un envoltorio gaseoso, pero en la Tierra, a la hora del ocaso, el Sol alumbra por un tiempo las capas superiores de la atmósfera y esta proyecta la radiación solar, suministrando a la Tierra luz reflejada. Así la oscuridad aparece paulatinamente a medida que el Sol se sumerge en el horizonte e irradia el sector más elevado del aire. El mismo evento acaece al elevarse el Sol al amanecer. Es el crepúsculo vespertino o aurora. El crepúsculo alarga el día y acorta la noche. Kepler (*Epitomes Astronomiae*) lo definió de esta guisa, el último vestigio del día:

***Quid sunt crepuscula? Auctores Latini usurpant pro luce crepera, hoc est dubia, cum dilucescit. Astronomis est omne id tempus, quod intercedit primam sensu notabilem aëris claritudinem et ipsum Solis ortum; vel vicissim quod est inter Solis occasum et ultimum diurnae lucis in aëre vestigium.***

En el tratado *Liber de crepusculis*, escrito por Abū 'Abd Allāh Muhammad ibn Mu 'ādh Jayyānī en 1039, el árabe español (al-Jayyani indica natural de Jaén), aparte de interesarse del crepúsculo por motivos vinculados a las oraciones vespertinas y matutinas, muestra una técnica para calcular la altura de la atmósfera.

Suponiendo que el aire y el éter son completamente transparentes, son los vapores acuosos que emana la Tierra y que se elevan en la atmósfera en forma de nubes, los que reflejan los rayos solares.

Admitiendo que el radio de la Tierra es de 3.818 millas itálicas que el ángulo de incidencia es igual al arco de reflexión, y que el Sol se encuentra a 18 o 19 grados bajo el horizonte, se deduce que la atmósfera sostiene un poder reflexivo óptico a una altura de casi 52 millas (86 km). La milla itálica (romana), equivalente a 1.481,5 metros. Según los estudios de Blázquez (1932), citando a Salvador Peláez (*Los pesos y medidas en la Monarquía Hispana de los siglos XVI y XVII. Fuentes, normas y usos metrológicos*, Departamento de Historia de la Ciencia y Documentación. Facultad de Historia y de la Ciencia y Documentación la Universidad de Valencia, 1999, p. 373), existen cinco clases de millas con las equivalencias: 1.481 m, 1.393 m, 1.666 m, 1.250 m y otra de cerca de 1.000 m.\*

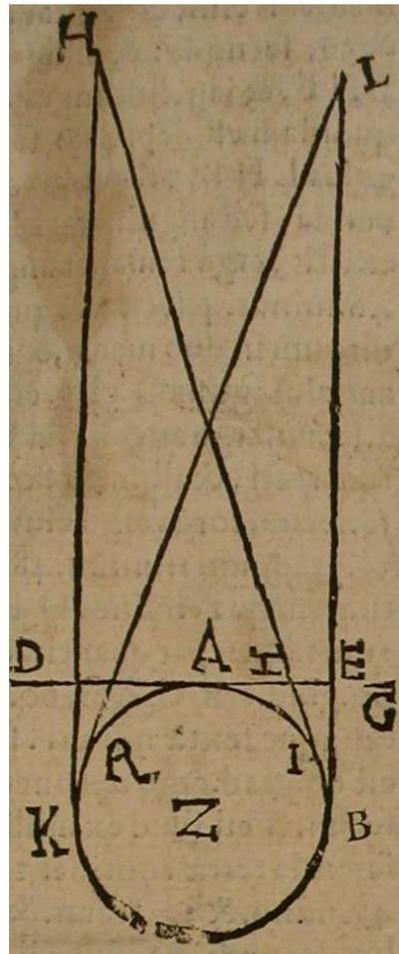
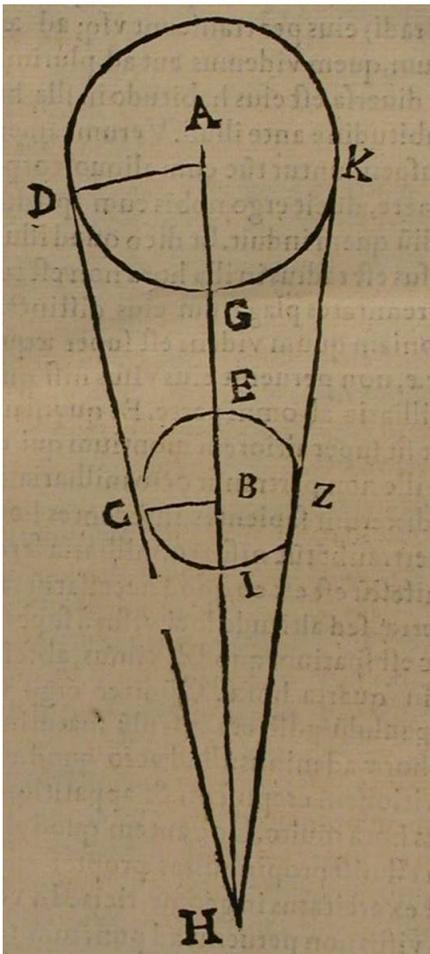
Es interesante señalar que aparte de ser el precursor de este sistema, el andaluz introduce una corrección a estos 19° de depresión. El rayo estimado parte de la superficie del Sol, por tanto, debe sustraerse la distancia angular solar.

Al-Jayyani considera que la circunferencia de la Tierra es de 24.000 millas, siendo la separación entre los dos astros 1.110 veces el radio de la tierra, y la proporción entre diámetros de 5,5. Aunque las cifras recorridas son erróneas la distancia angular evaluada, 18 minutos, no difiere en exceso a la utilizada con posterioridad (16').

La distancia al sol se valoró con relativa precisión en 1769 cuando haciendo uso del tránsito de Venus por el sol se consideró la distancia en unos 149 millones de km. Es decir, 23.485 veces el radio de la Tierra. El radio del Sol es 109,26 el de la Tierra, de manera que:

$$\operatorname{tg}^{\circ} = \frac{109,26 \cdot R_{\text{tierra}}}{23485 \cdot R_{\text{tierra}}} \Rightarrow \text{arco} = 16 \text{ min}$$

Los dibujos de Alhazen, recopilados por Pedro Nunes, muestran la distancia angular entre el Sol y la Tierra, y la reflexión del rayo solar en la atmósfera y su acomodo horizontal sobre la superficie terrestre.



El Sol lanza un rayo que proviene del exterior. Este arco es:

$$tg^{\circ} = \frac{5.5.R_{tierra}}{1110.R_{tierra}}$$

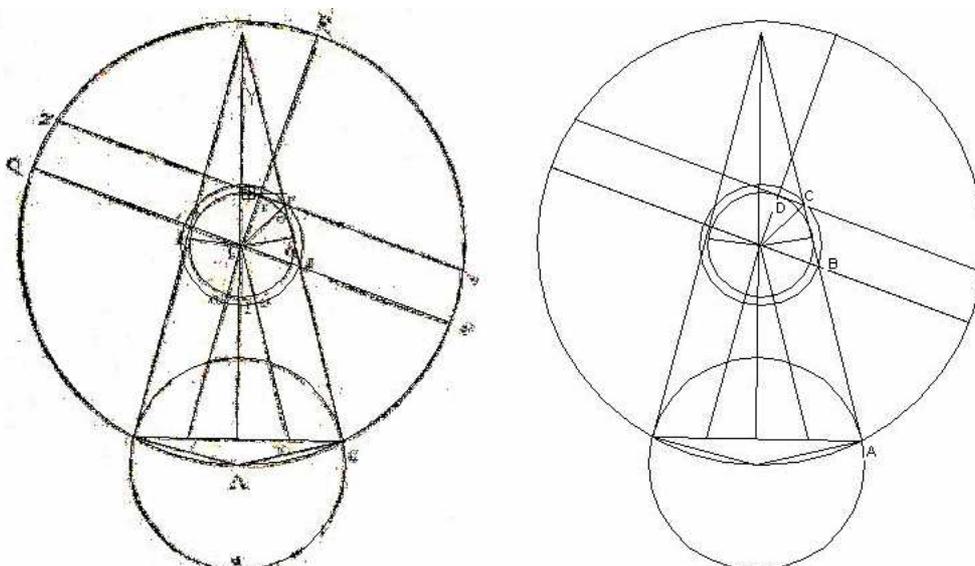
Si lo restamos a los 19° de profundidad del sol bajo el horizonte en el crepúsculo, el ángulo restante será 18°46'4".

El coseno del semiángulo, 9°23', corresponde al radio de la Tierra dividido por la hipotenusa constituida por el propio radio del planeta más la altitud del aire. De la igualdad resultante se despeja este último parámetro, obteniéndose 52 millas.

Este método ha sido recurrido como el clásico para cotejar la profundidad de la atmósfera, al menos en lo que concierne a la parte fluida que conserva su poder óptico y reflexivo.

Pedro Nunes, (1502-1578), matemático, astrónomo y geógrafo portugués publicó en Lisboa, en 1542, un tratado acerca de la duración de los crepúsculos. Se trata de su obra *Petri Nonii Salaciensis, de crepusculis liber unus*: item *Allacen Arabis vetustissimi, de causis crepusculorum liber unus*, à Gerardo Cremonensi iam olim Latinitate donatus, & per eundem Petrum Nonium denuò recognitus. Segunda edición. Editado por excudebat Antonius à Marijs, 1571. 63 páginas. El ejemplar utilizado está digitalizado por la Fundación San Millán de la Cogolla. Esta obra incluye el diseño de un dispositivo de medición de ángulos muy preciso denominado el nonio, en su honor.

El matemático portugués infiere que el tiempo que emplea el Sol en descender hasta los 18 grados bajo el horizonte, varía con la declinación del Sol y por tanto con las estaciones. Nunes fue el primero en tratar de evaluar ese periodo. En la figura perteneciente a la obra de Nunes se aprecia la distancia angular entre el sol y la tierra y la reflexión del rayo solar en la capa superior de la atmósfera:



El rayo parte desde la parte exterior del Sol, A, penetra en la atmósfera, B, y se refleja en la parte más alta de esta, C, llegando horizontalmente a la tierra en D. Sabiendo el ángulo máximo del crepúsculo y conociendo el valor del radio de la Tierra, se deduce la altura del aire.

Este procedimiento se mantuvo vigente hasta que el uso del barómetro y los experimentos de Torricelli y Pascal facilitaron una comprensión más completa de la naturaleza atmosférica.

---

\* Señalado por Antonio Jiménez Estrella y Juan Carlos Maroto Martos. Universidad de Granada. *Estado, distancia y control social: reflexiones en torno a una medición de caminos en la Granada de mediados del siglo XVI*. Scripta Nova. Revista de Geografía y Ciencias Sociales. Vol. VIII, núm. 166, 1 de junio de 2004. La milla que utiliza Alhazen (Al-Jayyani) tiene un valor de 1.666 metros.