





ECLIPSES

1. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA

1.1. Breve descripción de un eclipse de Sol

Si el cielo a simple vista ya es un espectáculo maravilloso, para disfrutarlo verdaderamente es necesario alejarse de las luces de la ciudad e internarse en un espacio que respete la oscuridad de la noche. Así era la vida de nuestros antepasados, que contemplaban el cielo sin ninguna perturbación lumínica. Ellos apreciaron conjuntos de estrellas que, con algo de imaginación, relacionaban con figuras existentes en la Tierra, como un oso o una jirafa. También creyeron ver en el cielo algunos de los dioses de su mitología o diversos personajes de ellas. Así llegaron al cielo Andrómeda, Casiopea, Perseo, Orión o Escorpión.

Los antiguos descubrieron cinco cuerpos errantes a los que llamaron “planetas”: Mercurio y Venus, cerca del Sol; y Marte, Júpiter y Saturno, en el cielo profundo de la noche. A estos

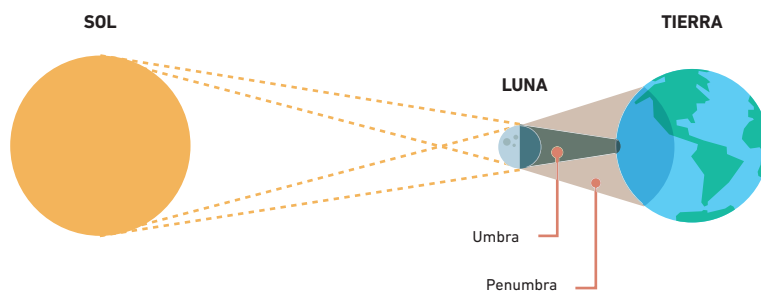
debían sumárseles el Sol y la Luna, los astros más rutilantes del firmamento.

Cuando el Sol está sobre el horizonte de un lugar el cielo cambia totalmente: desaparecen las estrellas en el fulgor de la luz que ilumina la atmósfera de la Tierra. De día solo podemos ver al astro rey y ocasionalmente a la Luna. Al ponerse el Sol aparece nuevamente ese cielo tachonado de estrellas, que era la figura más familiar para nuestros antepasados remotos; en la Tierra todo cambiaba, pero el cielo permanecía inmutable.

Estos cuerpos recorren a diario una trayectoria que los lleva a salir desde el este y ponerse al oeste. Ese movimiento aparente en el cielo se debe al giro de la Tierra, que rota sobre sí misma cada veinticuatro horas. En la rotación sobre su eje la Tierra se mueve hacia el este, produciendo el movimiento del cielo en sentido contrario. Los cinco planetas, el Sol y la Luna se mueven lentamente en el cielo, noche a noche, hacia el este, recorriendo un camino que se conoce como el zodiaco. La Luna es el cuerpo celeste más rápido al atravesar la bóveda celeste cada 27,3 días. Los planetas se mueven más lento, y el menos veloz de ellos es Saturno, que da una vuelta al cielo cada 29,5 años, mientras que Júpiter lo hace cada 11,9 años. Marte recorre el cielo en casi dos años (687 días). El Sol lo vemos desplazarse contra el fondo estrellado en un año (365 días). Todos los planetas (especialmente Venus, Marte, Júpiter y

Saturno) describen una trayectoria que es muy cercana a la ruta aparente del Sol en el cielo (conocida como “la eclíptica”). El plano de la órbita lunar forma un ángulo de 5° con respecto a la eclíptica, con lo cual cuando la Luna pasa cerca del Sol en el cielo puede estar hasta 5° al norte o al sur de él. Ocasionalmente la Luna se interpone entre nosotros y el astro rey produciendo un eclipse de Sol. Como el movimiento de la Luna es muy rápido, el eclipse de Sol es un fenómeno bastante breve, en general de unos pocos minutos.

El eclipse solar es total cuando desaparece todo el Sol a ojos de un observador. Ese fenómeno se puede observar ocasionalmente sobre una pequeña parte del planeta; en las zonas aledañas, el eclipse será parcial donde la Luna llegue a obstruir solo una parte del Sol. La zona de la parcialidad es mucho más extensa, razón por la cual todos hemos presenciado muchos eclipses parciales en nuestras vidas, pero muy pocos eclipses totales (la mayoría de las personas del planeta no han observado ninguno).



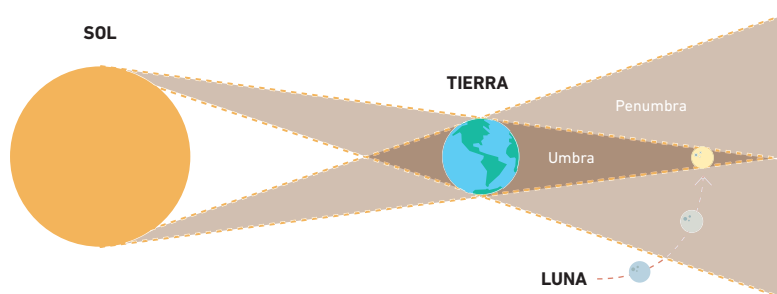
Eclipse total de Sol. Una pequeña zona de la Tierra ve un eclipse total y una gran zona a su alrededor ve un eclipse parcial.

1.2. Breve descripción de un eclipse de Luna

Cuando la Luna se mueve a la parte opuesta del Sol en el cielo, ocasionalmente entra en el cono de sombra de la Tierra y por ello se oscurece, produciéndose un eclipse. En el eclipse de Luna, el Sol, la Tierra y la Luna están alineados y por ello la Tierra le tapa la luz solar a la Luna. La Luna no tiene luz propia, solo refleja la luz que el Sol le envía.

Al estar eclipsada, se ve muy pálida, algo rojiza, casi desapareciendo de la vista del observador por unas pocas horas. Los eclipses de Luna pueden ser observados desde una muy amplia región de la Tierra, por lo cual son fenómenos mucho mejor conocidos que los eclipses de Sol. Naturalmente, los eclipses de Luna ocurren de noche, con el Sol bajo el horizonte, mientras que, por el contrario, los eclipses de Sol ocurren de día.

Los eclipses más frecuentes de ver son los de Luna, en segundo lugar los parciales de Sol y en un lejano tercer lugar los eclipses totales de Sol.



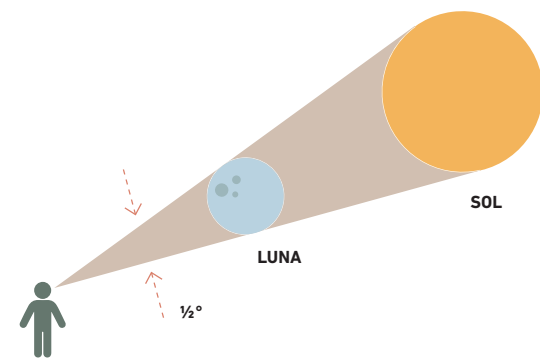
Esquema básico de un eclipse de Luna.

1.3. Coincidencia del tamaño angular de la Luna y el Sol

Una coincidencia astronómica es el tamaño angular del Sol y la Luna a ojo de un observador terrestre: las visuales dirigidas a bordes opuestos del Sol forma un ángulo de $\frac{1}{2}^\circ$, y se dice que fue el gran filósofo Tales de Mileto quien lo descubrió en el siglo VI a. C. Tales comparó la cantidad de agua vertida en una clepsidra (reloj de agua) en el intervalo que transcurre entre que el Sol toca el horizonte y termina de ponerse, (aproximadamente dos minutos) con la cantidad de agua vertida en la clepsidra en un día completo (veinticuatro horas). Encontró que esta última era unas 700 veces mayor. De allí concluyó que el disco solar cabría 700 veces en el círculo completo y, por tanto, representaría $1/700$ de un

círculo de 360° , o sea, aproximadamente $\frac{1}{2}^\circ$. Con la Luna se podría hacer igual medición y se tendría un resultado muy similar. Se dice que Tales habría comunicado el descubrimiento, al poco tiempo de haberlo hecho, a Mandrólito de Priene, el cual quedó encantado con esta nueva e inesperada noticia y le preguntó cuánto debía pagarle por concepto de derecho de autor por tan importante descubrimiento: “Yo estaré suficientemente pagado —replicó el sabio— si cuando usted se lo cuente a la gente le dice que lo aprendió de mí y no toma usted el crédito del descubrimiento y me nombra a mí y no a otro como el descubridor”.

Esto muestra que hace más de dos mil quinientos años el derecho de autor era ya un tema, aunque con un enfoque ligeramente distinto.



El ángulo que subtenden el Sol y la Luna es de aproximadamente medio grado.

Esta similitud llevó a grandes discusiones acerca del verdadero tamaño de ambos astros. Se veían iguales en el cielo, pero ¿eran

verdaderamente iguales en tamaño físico? Hace más de 2.300 años, el gran astrónomo griego Aristarco, utilizando un método muy ingenioso, basado en el triángulo que forman la Luna, la Tierra y el Sol, “determinó” que el Sol estaba, aproximadamente, veinte veces más lejos de nosotros que lo que está la Luna. Como su tamaño aparente en el cielo es muy similar, Aristarco dedujo que el Sol es veinte veces más grande que la Luna. Como él había determinado que la Luna era unas tres veces menor que la Tierra, observando eclipses totales de Luna comparó el tamaño de esta con el ancho del cono de sombra de la Tierra (aplicando la geometría correspondiente), con ello concluyó que el Sol era casi siete veces más grande que nuestra Tierra. De ahí que Aristarco llegaría a pensar que el Sol era el centro del universo y no la Tierra. Desgraciadamente, la idea heliocéntrica de Aristarco no fue bien recibida en su época y recién 1800 años después el mundo estaría preparado para el heliocentrismo, en manos del polaco Nicolás Copérnico.

Aristarco fue una especie de Leonardo da Vinci del mundo griego antiguo: genial pero ignorado o incomprendido, pese a que sus argumentos eran muy interesantes y basados en mediciones. ¡Aristarco subestimó la distancia al Sol por casi un factor de veinte! El Sol está, en verdad, 390 veces más lejos que la Luna y por ello la supera

en diámetro, aproximadamente, por el mismo factor.

Hoy sabemos que el Sol es 400 veces más grande que la Luna (1.392.000 kilómetros de diámetro contra 3.476). Si representáramos la Luna mediante una pelota de tenis de mesa de 40 milímetros de diámetro, el Sol deberíamos representarlo con una esfera de 16 metros de diámetro (puesta en la calle una esfera de ese tamaño tendría la altura de un edificio de cinco pisos).

Como la órbita de la Luna en torno a la Tierra es elíptica, en el perigeo —la distancia mínima con respecto a la Tierra— la Luna se encuentra a tan solo 360.000 kilómetros de la Tierra y ahí subtende un ángulo de 33',5. En el apogeo la Luna se sitúa a 405.000 kilómetros y ahí el tamaño angular lunar baja a 29',4. El tamaño angular medio del Sol es de 32', aunque sufre ligeras variaciones debido a la excentricidad de la órbita terrestre en torno al Sol, que es de poca cuantía ($e=0,017$). El diámetro solar varía entre 31,5 y 32,5 minutos de arco.

Cuando la Luna se encuentra en el perigeo se verá más grande angularmente que el Sol y, por ello, cuando se interponga entre el Sol y la Tierra se producirá un eclipse total de Sol. Cuando la Luna se encuentre lo más alejada de la Tierra, en el apogeo, la Luna no alcanzará a cubrir la imagen del Sol y el eclipse no podrá ser total; será

anular, pues en el momento cúlmine quedará visible un anillo del Sol, un ánulo.

1.4. El tamaño de la Tierra

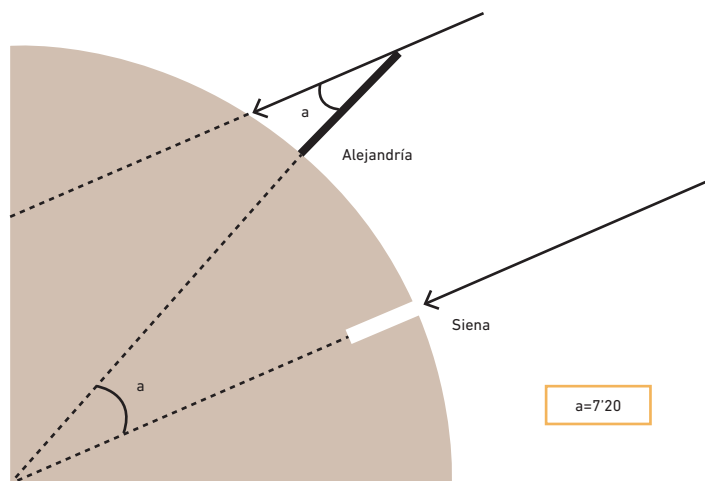
La forma y el tamaño de la Tierra fueron motivo de discusión por muchos años. En el siglo VI a. C. el filósofo griego Tales de Mileto enseñaba que la Tierra era plana: un disco rodeado de agua que flota sobre ella. Un tiempo más tarde el gran filósofo y matemático Pitágoras enseñó a sus discípulos que la Tierra es esférica. Desgraciadamente Pitágoras no escribía sus ideas, pues consideraba que el conocimiento solo debía circular entre expertos. Por eso, es difícil saber hoy en qué basó su afirmación. Es posible que la basara en razones estéticas, para que tuviese la misma forma que el cosmos, que él suponía esférico. Fue el primero en llamar cosmos al cielo, que en griego significa *orden* y *belleza*, y que es el antónimo del caos.

Cosmos tiene la misma raíz que *cosmética*, que tiene que ver con belleza. El primer filósofo en plantear por escrito la esfericidad de la Tierra fue Parménides de Elea, en tiempos anteriores a Platón. Basó su idea en los reportes de los navegantes que decían que las estrellas que salían y se ponían en Grecia se transformaban en estrellas circumpolares cuando viajaban más al norte.

Otras estrellas, como Canopus, que es apenas visible desde la isla de Rodas, se ve cada vez más alta en el horizonte sur al viajar a Egipto. El gran filósofo Aristóteles, en el siglo IV a. C. en su libro *De Coelo* cita el valor de 400.000 estadios para el perímetro terrestre; para un estadio de 157,5 metros el valor de Aristóteles es muy grande (63.000 kilómetros, cuando la circunferencia terrestre es de aproximadamente 40.000 kilómetros).

El tema de la esfericidad de la Tierra quedó zanjado en el siglo III a. C. por Eratóstenes de Cirene, en Alejandría. Eratóstenes era bibliotecario de la gran biblioteca de Alejandría. Fue un hombre de gran cultura; sabía que el día del solsticio de verano el Sol alumbraría el fondo de un pozo en la ciudad de Siena (cerca de la moderna Asuán); sin embargo, ese día el Sol no llegó al cenit de Alejandría, sino que alumbró con un ángulo mínimo de $7,2^\circ$ con respecto a la vertical del lugar. Eratóstenes sabía que ese resultado se podía interpretar de dos maneras: asumiendo que el Sol estaba muy cerca de la Tierra y esta es plana: ese día estaba sobre Siena y por ello sus rayos de luz no llegaron cenitalmente a la ciudad de Alejandría. Con ello la distancia de Siena a Alejandría serviría para determinar la distancia al Sol. Por otra parte, si se aceptaba que el Sol estaba muy lejos, como parecían indicar los resultados de Aristarco, ese ángulo de $7,2^\circ$ indicaría que las verticales de Siena y Alejandría no son

paralelas, sino que convergen en el centro de una Tierra esférica. Este fue el modelo asumido por Eratóstenes.



Eratóstenes constata que mientras el Sol alumbraba el fondo de un pozo al mediodía en Siena, forma un ángulo de $7,2^\circ$ con la vertical de Alejandría.

¿Cómo midió Eratóstenes esa distancia? (unos ochocientos kilómetros). Nadie lo sabe a ciencia cierta. El físico español Manuel Lozano Leyva, en su libro *De Arquímedes a Einstein* sugiere que Eratóstenes les pagó a las caravanas que circulaban por la ribera del río Nilo para que pusieran a esclavos a contar las vueltas de rueda de las carretas entre Alejandría y Siena. Contando giros de rueda, midiendo con cuerdas, enumerando pasos, Eratóstenes obtuvo diversos resultados de muchas caravanas que lo llevaron a concluir que

entre las dos ciudades había 5.000 estadios. El perímetro terrestre era entonces de 250.000 estadios. El valor lo elevó Eratóstenes a 252.000 estadios para que entonces hubiera 700 estadios por grado. ¿Cuál es la longitud del estadio utilizado por Eratóstenes? Hay tres alternativas: el estadio de 157,5 metros, el estadio olímpico de 185 metros y el estadio real egipcio de 210 metros. Lo más probable es que utilizara el primero, con lo cual el error de su medición es sorprendentemente bajo (700 estadios serían 110 kilómetros y la longitud de un grado es de 111,1 kilómetros).

Cada vez que viajamos en la dirección norte-sur la latitud cambia en un grado al desplazarnos 111 kilómetros. El trabajo de Eratóstenes es del siglo III a. C., por lo cual hace más de 2300 años que tenemos una clara idea del tamaño de nuestro planeta.

1.5. Algunos eclipses históricos

Los eclipses totales de Sol siempre causaron una fuerte impresión en los pueblos antiguos. Para muchos se producían porque un dragón intentaba comerse el Sol. Por ello disparaban flechas al cielo para matarlo o al menos ahuyentarlo. El método siempre daba buenos resultados porque el Sol regresaba después de algunos minutos. ¿Cuándo entendió el hombre el fenómeno de un eclipse

solar? Es muy difícil saberlo, pero en época de Aristóteles en Grecia, durante el siglo IV a. C. el gran filósofo entendía que el eclipse de Luna se produce cuando la Luna se “mete” en el cono de sombra de la Tierra y el de Sol ocurre cuando la Luna se interpone entre nosotros y el Sol. Distintos pueblos lo entendieron en diferentes épocas; en un mundo muy poco conectado el conocimiento era bastante local. En India y China se sabían cosas que eran ignoradas en Europa. En esta última se sabía bastante más que en América. En China se llevaba registro de los fenómenos celestes, consignando la aparición de novas (o ahora supernovas), cometas y eclipses de Sol y de Luna. Esos registros aportan datos de gran valor hasta nuestros días. Es una verdadera lástima que en la visión de Aristóteles el cielo fuese “inmutable” y por ello en Europa, hasta el Renacimiento, los reportes de fenómenos celestes fueron muy escasos o simplemente inexistentes. La Iglesia católica adoptó a Aristóteles como la “verdad oficial” y por ello, reportar un acontecimiento celeste, como una nova, era ir contra Aristóteles y por tanto contra la Iglesia.

Un ejemplo interesante es la supernova que explotó en Tauro el año 1054, que dio origen a la nebulosa del cangrejo. Llegó a ser visible de día, incluso más brillante que el planeta Venus. Sin embargo, en Europa nadie la vio (más bien nadie reportó haberla visto). Por ello, los registros