

La batalla del eclipse solar



Resumen

Esta batalla fue librada presumiblemente en la zona de Capadocia (Turquía), en el año 585 a. C. entre los reyes Aliates, por parte de los lidios, y Astiages por parte de los medos. En medio de la batalla tuvo lugar un eclipse de sol, causando un gran miedo entre los contendientes que decidieron poner fin a la misma. Este suceso nos fue narrado por el historiador griego Herodoto, en su libro I de Historia.

Si sobre la historicidad del suceso no hay dudas hoy en día, al respecto de la zona donde tuvo lugar la misma y de la posible predicción del eclipse realizada por el sabio griego Tales de Mileto hay mucha confusión y dudas.

Con objeto de poder familiarizarnos con las características que rodean a todo eclipse de sol doy, a modo de modelo, los cálculos realizados sobre el futuro eclipse solar total que tendrá lugar el 12 de agosto de 2026 y que será visible desde la Península Ibérica. Estos cálculos son posteriormente extrapolados al eclipse histórico objeto de estudio en este artículo, con la intención de recrear todas las fases del mismo, la zona que recorrió la franja total de oscuridad y los tiempos locales de cada fase del eclipse.

Todo este estudio me permitió elaborar una interpretación histórica personal del fenómeno astronómico acaecido, sobre todo en la búsqueda del lugar en donde se luchó y las posibles rutas seguidas por los dos ejércitos.

Termino con un análisis de los eclipses solares que tuvieron lugar en la zona durante todo el siglo VII a.C. y último cuarto del VI, y la existencia de distintos ciclos temporales que se repiten en los eclipses de sol.

LA BATALLA DEL ECLIPSE SOLAR

Este nuevo trabajo de arqueoastronomía surgió mientras leía las obras del historiador griego Herodoto (484 - 426 a.C.), " el Padre de la Historia ", llamado así por su pretensión de elaborar un relato de los acontecimientos históricos acaecidos en el Próximo Oriente más Grecia, durante los siglos VI y V a. C.

En su libro I, en el capítulo 74 , nos cuenta el fenómeno astronómico ocurrido durante la contienda bélica entre lidios y medos por el dominio del Asia Menor. Este hecho consistió en un eclipse solar, vivido por ambos ejércitos mientras se encontraban en plena batalla. La impresión que les causó tuvo consecuencias inmediatas, parando la lucha, ya en el atardecer, así como de más largo alcance, pues propició la firma de un tratado de paz que puso fin a la guerra, que duraba ya varios años.

Desde siempre, probablemente ya desde la Prehistoria, el hombre ha observado con interés los astros presentes en el cielo, tanto diurno como nocturno, intentando dar una explicación de sus movimientos y registrando, con admiración, los acontecimientos más raros y espectaculares, como pudieron ser los eclipses, cometas y grandes meteoritos. Alguna vez me he preguntado si hay alguna relación entre las hileras de puntos rojos presentes en la cueva del Castillo (Puente Viesgo) y el registro de eclipses solares, por parte de los grupos neandertales o paleolíticos que habitaron durante milenios la cueva. Si esto solo supone una conjetura mía , no sucede lo mismo respecto a la posible relación entre el eclipse de sol, ocurrido el 30 de octubre de 1207 a. C. y la toma de la ciudad de Jericó por los hebreos narrada en el libro de Josué, del Antiguo Testamento de la Biblia, ni tampoco dudar del cometa (¿ o posible conjunción planetaria múltiple ?) que, según la tradición cristiana, guió a los Reyes Magos hasta Belén; así como reconocer la enorme importancia que tiene para los musulmanes la Piedra Negra (un posible meteorito), que veneran en la Kaaba de la ciudad de la Meca.

Estos acontecimientos quedaron marcados en la historia de las tres grandes religiones monoteístas surgidas en Próximo Oriente.

Mi pasión por los clásicos de la Antigüedad Grecolatina, así como mi visita turística a Turquía, en particular a la región de la Capadocia, en el año 2015, se juntaron, sirviéndome de motivación para abordar el presente artículo sobre la " batalla del eclipse ", episodio histórico también conocido como el eclipse de Tales.

El objetivo que me he propuesto es conocer las características que rodearon a este eclipse en la zona de la región central de la península de Anatolia, profundizar en el comentario hecho por Herodoto respecto a la predicción del mismo realizada por



El autor en Uchisar, valle de Göreme (Capadocia)

Tales de Mileto y, en última instancia, poder sugerir una posible localización de la batalla.

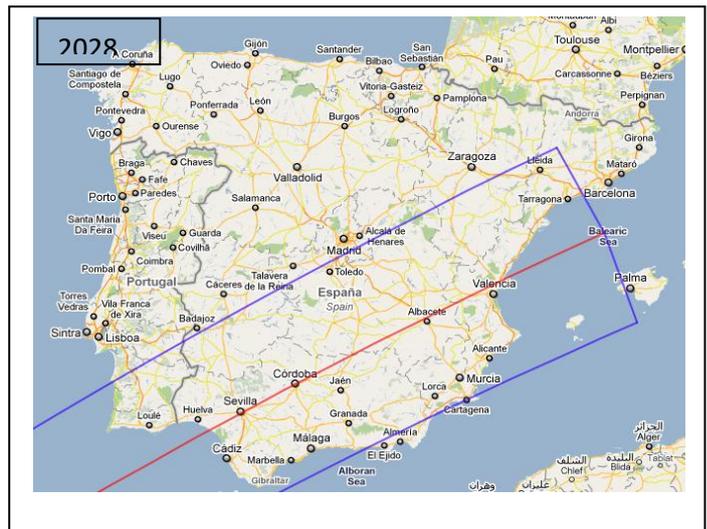
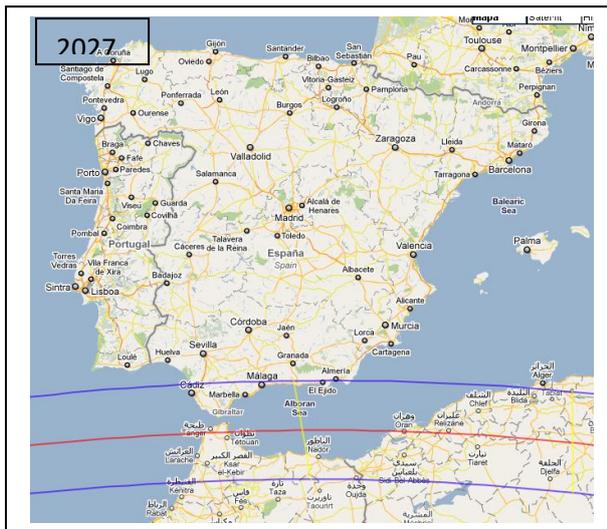
Los medios que me ayudarán a lograrlo serán, por un lado, realizar el desarrollo matemático necesario para poder hallar la trayectoria de la línea central del eclipse, junto con otras características asociadas al mismo (magnitud, duración, tiempo..... etc) y, por otro, dar forma a las circunstancias locales que rodearon al fenómeno astronómico, en la zona finalmente elegida como probable lugar en

donde pudo darse la batalla, basándonos en un estudio geográfico previo de la región situada al norte del río Halis (el moderno Kizilirmak), en los caminos de comunicación o rutas comerciales existentes en el imperio persa y, finalmente, en el contexto histórico asociado al marco temporal en el que nos moveremos, finales del siglo VII y primera mitad del siglo VI a.C.

La estructura o esquema a seguir será similar al empleado en otros trabajos anteriores míos. Consistirá en la exposición detallada de todo el soporte matemático necesario para el estudio de un eclipse solar similar, más o menos próximo en el espacio y en el tiempo a nosotros, como puede ser el total que se dará en España el 12 de agosto del 2026. Este eclipse se convertirá en nuestro modelo a seguir, para posteriormente abordar el estudio concreto del eclipse de la batalla, que aconteció el 28 de mayo del 585 a.C. (año astronómico - 584), siguiendo los mismos pasos, pero cambiando los elementos besselianos de aquel por los de éste.

El eclipse solar del 12 de agosto del 2026

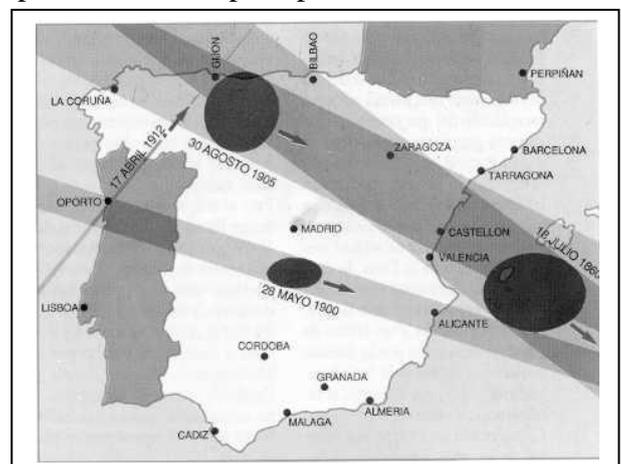
Con este eclipse solar, que será total, dará comienzo una triada de ellos que podrá ser vista, sucesivamente en España, los años 2026, 2027 y 2028. El conjunto estará formado por dos eclipses totales y finalizará con otro anular. Sobre el primero se hará el estudio detallado, el segundo de ellos, que tendrá lugar el 2 de agosto, pasará por el Estrecho de Gibraltar y durará su fase de totalidad unos cuatro minutos y medio, mientras que el tercero, con una duración de más de siete minutos, sucederá el 26 de enero y pasará por Sevilla, Córdoba, Albacete y Valencia, entre otras ciudades.



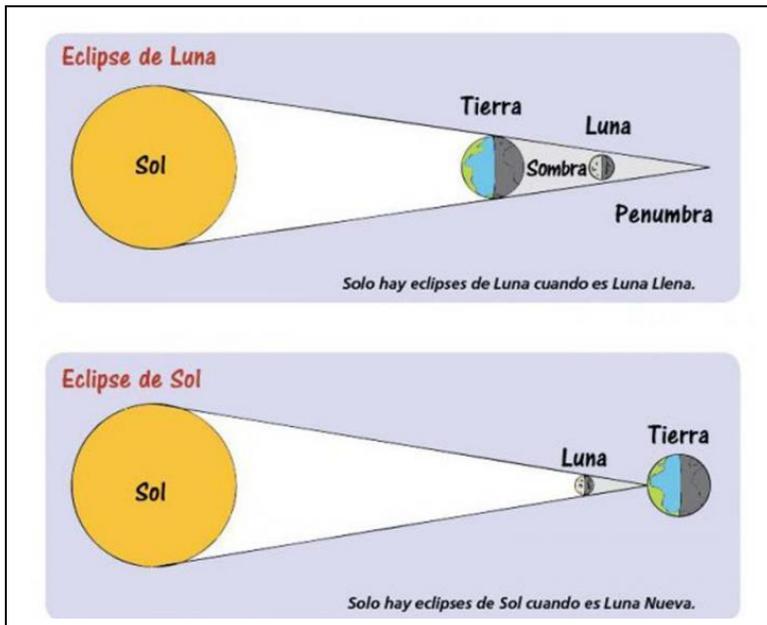
Haciendo un poco de historia de los vistos hasta ahora, empezariamos por el anular del 3 de octubre del 2005 que se pudo observar entrando en la Península por Pontevedra, pasó por Madrid sobre las 11h de la mañana, durando cuatro minutos y doce segundos, y salió por Benidorm. Fue muy seguido por la gente en general, pues hacía 241 años que no se daba uno similar en España.

Durante el pasado siglo XX, y a principios del mismo, hubo otra terna de eclipses solares en los años 1900, 1905 y 1912, siendo el más espectacular el que sucedió el 30 de agosto de 1905, cuya trayectoria siguió un camino muy similar al que seguirá el de 2026.

Posterior a estos, en 1959, hubo un eclipse total, pero solo fue visible en las Islas Canarias.



Por definición, un eclipse se produce cuando un planeta o una luna se interpone en el camino de la luz del Sol, por consiguiente, desde la Tierra, se pueden ver dos clases de eclipses: de sol y de luna.



El eclipse de sol se produce cuando la Luna, en su movimiento de traslación alrededor de la Tierra, se interpone en la línea recta que une los centros de ambos astros. Así, cuando un observador terrestre se encuentra dentro del cono de sombra arrojada por la Luna, la cual oculta total o parcialmente al Sol, consecuencia directa de que el Sol, la Luna y la Tierra estén alineados en el espacio durante una sизigia, con nuestro satélite en fase de luna nueva y próximo a uno de los nodos, ascendente o descendente de su órbita, sólo entonces se podrá producir un eclipse de sol.

En el de luna, es la Tierra la que se interpone entre los otros dos astros, tapando con su sombra a la Luna que se encuentra en fase de luna llena.

Centrándonos en nuestro eclipse del 12 de agosto del 2026, diremos que se trata de un eclipse solar total. Dará comienzo en la costa de Siberia oriental, a una latitud $\varphi = 75^\circ$ y una longitud $\lambda = 113^\circ,4$ este. Entonces serán las 17h TU, correspondiente a la 1h de la noche hora local, es decir empezará durante el sol de medianoche. Pasará muy cerca del Polo Norte, con una latitud $\varphi = 88^\circ$ y unos 15° de altura sobre el horizonte, proseguirá su camino por la costa oriental de Groenlandia y oeste de Islandia, alcanzando su máximo para unas coordenadas de $\varphi = 65^\circ,2$ norte y una $\lambda = 25^\circ,2$ oeste; después seguirá su camino por el Atlántico Norte, hasta su posterior encuentro con la Península Ibérica, tocándola, por primera vez su línea de centralidad, cerca de la localidad de Luarca (Asturias), momento en el que alcanzará su máxima duración en España (1 minuto y 50 segundos), a una altura de unos $10^\circ,7$ sobre el horizonte oeste. Paulatinamente, pasará después por Oviedo, sur de Burgos, Santo Domingo de Silos, sur de Calatayud, abandonando la Península al sur de Peñíscola y España por el sureste de la isla de Palma de Mallorca. Para entonces, serán ya las 18h 32m de TU y el Sol estará a punto de iniciar su ocaso por el horizonte oeste, a una altura de 2° . El ancho de la franja de totalidad será de unos 250 Km aproximadamente.

Con objeto de tener una visión general de las características del eclipse, lo primero que hay que presentar es su mapa en proyección ortográfica, lo siguiente será conocer sus elementos besselianos que nos servirán para elaborar los cálculos matemáticos, exponiéndolos detalladamente y, si es necesario, explicando de un modo sencillo los principales conceptos presentes en cada uno de los apartados.

Mapa ortográfico.

Se define una proyección ortográfica como el sistema de representación gráfica que consiste en representar los elementos geométricos o volúmenes en un plano, mediante una proyección ortogonal, es decir, perpendicular al plano de proyección, obteniéndose una imagen similar a la que resultaría de la iluminación de la Tierra, mediante un foco de luz situado muy lejano en el espacio.

En este mapa se representan el recorrido y los límites, tanto de la franja de totalidad como los bordes de la parcialidad, así mismo se observa el terminador, que separa la parte iluminada o día, respecto a la parte correspondiente a la noche, para el momento en el que se produce el eclipse máximo.

El mapa se encuentra centrado en el punto en donde se da su máximo, señalándose también su punto subsolar, o lugar geográfico donde el Sol se encuentra en su cénit, para dicho momento. Ambos puntos están representados con un asterisco.

Los grandes bucles, en los extremos oeste y este, corresponden a las áreas donde el eclipse comienza o finaliza, al orto y ocaso del Sol, respectivamente.

Los puntos P₁ y P₄ señalan, respectivamente, las coordenadas donde el eclipse parcial comienza y finaliza.

El camino o franja de totalidad es representado, desde su comienzo en el oeste hasta su final en el este, hallándose delimitada entre los bordes de parcialidad

norte y sur y siendo cruzada de forma transversal por líneas a intervalos temporales de media hora.

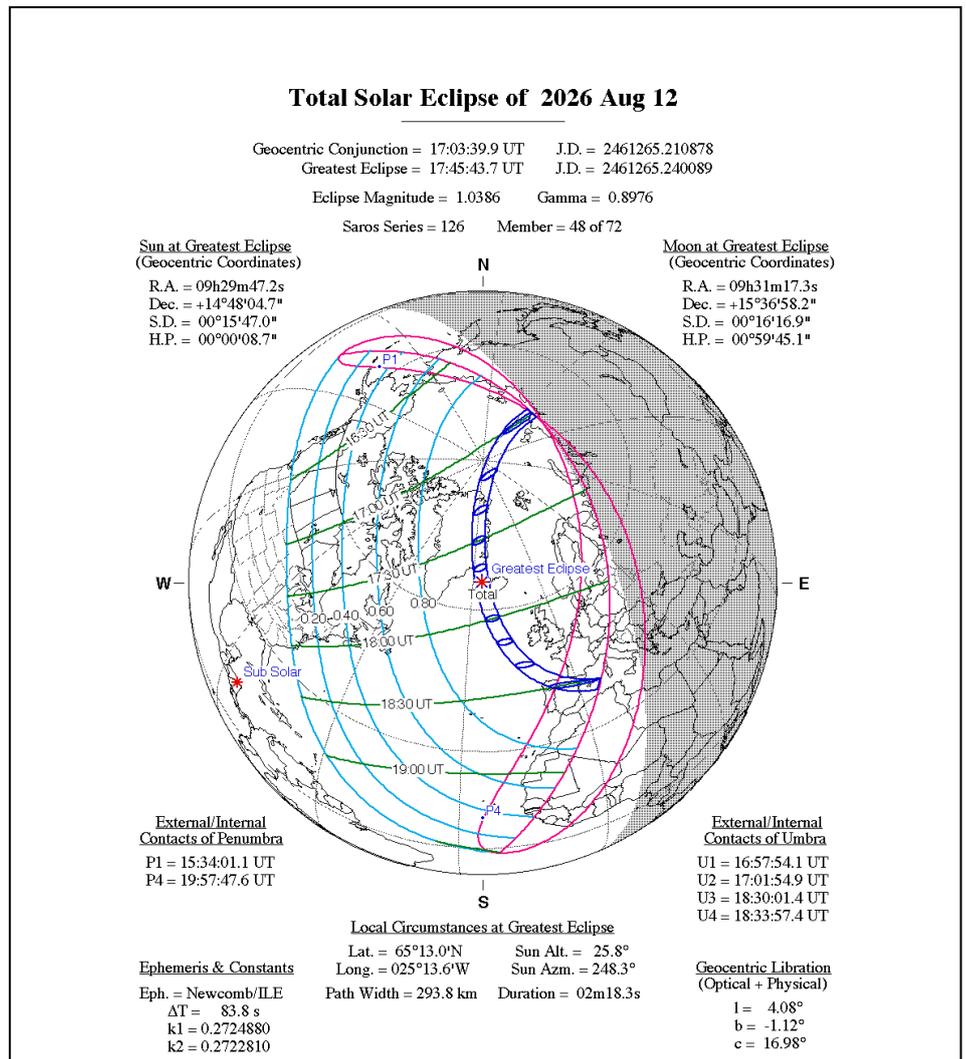
Paralelas a la franja de totalidad y desde el oeste hacia el este, se ven otras líneas que marcan la magnitud del eclipse en esos puntos geográficos (0.80, 0.60, 0.40.....hasta el 0 de parcialidad).

Pasando a comentar la leyenda que tiene el mapa, vemos que en la parte de arriba se indica el momento de la conjunción geocéntrica entre la Luna y el Sol y el instante del máximo eclipse, ambos expresados en Tiempo Universal (TU) y su correspondencia en Días Julianos (J.D.).

Por debajo se informa de la magnitud del eclipse, que nos indica la fracción del diámetro del Sol ocultado por la Luna, su distancia gamma que expresa, en unidades del radio ecuatorial de la Tierra, la mínima separación entre el eje de sombra de la Luna y el centro de la Tierra en el momento de máximo eclipse, la serie de saros a la que pertenece el eclipse y el lugar que ocupa en dicha serie.

Rodeando el mapa por arriba, a izquierda y derecha respectivamente, se dan las coordenadas ecuatoriales geocéntricas del Sol y la Luna en su instante máximo, junto con sus semidiámetros aparentes y paralajes horizontales.

De forma similar pero en su zona inferior, a izquierda y derecha, se pueden ver, en Tiempo Universal, los momentos de los contactos internos/externos de la penumbra y la umbra.



Más abajo, en el centro, se dan las circunstancias locales del Sol, sus coordenadas geográficas, las horizontales, el ancho de la umbra y su duración, también para su máximo momento.

En el ángulo inferior izquierdo nos dan, en unidades de radio ecuatorial de la Tierra, los radios medios de la Luna, K_1 y K_2 , correspondiendo el primero a los eclipses parciales, mientras que el segundo se aplica en los totales, anulares e híbridos. El valor ΔT representa la diferencia entre el Tiempo Dinámico (TD), basado en relojes atómicos, y el Tiempo Universal (TU) basado en la rotación de la Tierra, que no es constante y uniforme, variando con el tiempo.

En el inferior derecho nos informa de la orientación aparente del disco de la Luna, según se ve desde la Tierra, mediante los valores geocéntricos de libración de la Luna en longitud (l), en latitud (b) y el ángulo de posición del eje de rotación norte de la Luna respecto al norte celeste (c).

Si con el mapa topográfico nos hacemos una idea general del eclipse solar sobre la superficie terrestre, serán los elementos besselianos asociados al mismo los que nos servirán para hallar la franja de totalidad y las características del eclipse para cualquier localidad desde donde éste sea visible y para cada uno de los momentos temporales elegidos por el observador.

Elementos besselianos

Caracterizan la posición geométrica de la sombra de la Luna sobre la Tierra. Se denominan así en honor del gran matemático y astrónomo alemán Friedrich Wilhelm Bessel (1784 - 1846), que fue el primero en desarrollar este método de cálculo para hallar las circunstancias locales de un eclipse solar concreto y la trayectoria que sigue sobre la superficie de la Tierra su línea central de totalidad.

Estos elementos se pueden encontrar en los Almanques Astronómicos y en la página web de eclipses publicada por la NASA y en distintas revistas especializadas.

Los elementos besselianos que doy a continuación, y que me servirán para realizar los cálculos matemáticos, están sacados del " Catálogo de eclipses solares para el periodo 2001 - 2100 " (n° de catálogo 9.566), correspondiente a la publicación de NASA : " Five millennium canon of solar eclipses: - 1999 a + 3000

Instante del eclipse máximo: 17:47:06 TDT = 17:45:51 UT JD = 2461265.24100

Gamma = 0.8977 Efemerides = VSOP87/ELP2000-82

Magnitud del eclipse = 1.0386 Lunación No. = 329

Tipo de eclipse = Total Serie de Saros = 126 $\Delta T = 75.4$ s

Radio lunar $k_1 = 0.272488$ (Penumbra)

Radio lunar $k_2 = 0.272281$ (Umbra)

Elementos besselianos para los polinomios: Hora de referencia 18.000 TDT (=T₀)

n	x	y	d	l ₁	l ₂	μ
0	0.4755140	0.7711830	14.7966700	0.5379550	-0.0081420	88.747787
1	0.5189249	-0.2301680	-0.0120650	0.0000939	0.0000935	15.003090
2	-0.0000773	-0.0001246	-0.0000030	-0.0000121	-0.0000121	0.000000
3	-0.0000080	0.0000038	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.000000

$\tan f_1 = 0.0046141$ $\tan f_2 = 0.0045911$

Para el tiempo t_1 en horas decimales cada uno de los elementos besselianos es evaluado así:

$$a = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 + a_3 \cdot t^3$$

donde $a = x, y, d, l_1, l_2$ y μ ; $t = t_1 - T_0$ (en horas decimales), y $T_0 = 18$ h TDT

Circunstancias en el momento del eclipse máximo:

Instante = 17:45:51 UT

Latitud: 65.2° N Altura del Sol: 25.8° Ancho de la sombra = 293.9 km

Longitud: 25.2° W Acimut del Sol: 248.4° (a partir del norte) Duración central = 02m18s

Los valores de la tabla correspondientes a $n = 0$ son los que corresponden para la hora tomada como referencia T_0 . Los otros valores de n (1, 2 y 3) son los coeficientes del resto de monomios del polinomio, en función del tiempo (t). Por ejemplo, el valor de x en cualquier instante durante el eclipse se calcularía así :

$x = x_0 + x_1 \cdot t + x_2 \cdot t^2 + x_3 \cdot t^3$, donde t es medido en horas respecto a T_0 , siendo t negativo para los instantes anteriores a T_0 .

Los elementos x e y están representados por polinomios de tercer grado, mientras que para d , l_1 y l_2 son de segundo grado. El ángulo horario μ es una función lineal del tiempo t .

Las cantidades d y μ están expresadas en grados y decimales. Hay que decir que las cantidades x_1 , μ_1 y l_{10} son siempre positivas. Las $\tan f_1$ y f_2 permanecen constantes durante todo el eclipse y son siempre positivas.

Las coordenadas rectangulares del observador son ξ, η, ζ , donde ξ, η corresponden a las del Plano fundamental de referencia.

Aunque para caracterizar completamente un eclipse solar haya que realizar múltiples cálculos que lo expliquen en su totalidad para cada uno de los lugares desde donde es visible, en este trabajo solo se abordarán tres aspectos del mismo que considero importantes para alcanzar nuestro objetivo de localizar un posible lugar para la batalla, cuando después exportemos este modelo al "eclipse de Tales".

- 1º.- Hallar las coordenadas geográficas por donde pasará la línea central de totalidad sobre España, tanto por el territorio peninsular como por las Islas Baleares.

- 2º.- Hallar los límites norte y sur de la franja de totalidad, para una longitud geográfica concreta.

- 3º.- Calcular las circunstancias locales que rodearán al eclipse solar en una localidad dada o un lugar geográfico determinado.

Línea central de totalidad del eclipse.

En un eclipse total el eje central del cono de sombra de la Luna atraviesa la superficie de la Tierra. La trayectoria seguida por este eje se conoce como línea central del eclipse. Es aquí donde alcanza su mayor duración la fase de totalidad o anularidad, mientras que esta duración tiende a cero a medida que nos alejamos de la misma, hasta llegar al límite de la franja de totalidad.

Para poder situar los puntos geográficos por donde pasará la línea central hay que conocer la longitud y latitud geográfica correspondiente. El método a seguir consistirá en calcular la latitud de cada punto para una longitud dada.

Como España es un país que se extiende entre una longitud 9° oeste y 4° este (sin tener en cuenta las Islas Canarias, que están situadas entre los 14° y 18° oeste), y conociendo, por el mapa ortográfico, que el eclipse entrará por el noroeste de la Península y saldrá por el sureste de la isla de Palma de Mallorca, es por lo que he considerado oportuno calcular la latitud correspondiente de la línea central a intervalos de $0,5$, desde la longitud 3° este hasta los 8° oeste.

Como ejemplo de aplicación voy a calcular la latitud (φ) por la que va a pasar la línea central de totalidad para una longitud (λ) de 1° oeste.

Sea " t " el tiempo dinámico TD, medido en horas desde T_0 . Vamos a aplicar un método iterativo que nos permitirá encontrar la correcta latitud y el tiempo de paso del eclipse para esa longitud 1° oeste. Con objeto de empezar las iteraciones, voy a comenzar el proceso para los valores de $t = 0$ y $\varphi = 0$. Lo primero que voy a calcular, para este tiempo $t = 0$ h, son las coordenadas x , y sobre el Plano fundamental y sus derivadas con respecto al tiempo (t) que nos informan de sus variaciones horarias.

Después hallaré la declinación (d) y el ángulo horario (μ) hacia donde apunta el eje del cono de sombra.

Según se indica en el cuadro de los elementos besselianos se tiene:

$$x = x_0 + x_1 \cdot t + x_2 \cdot t^2 + x_3 \cdot t^3 \text{ (1)} \dots \text{ entonces} \dots x = 0,475514 + 0,5189249 \cdot 0 + (-0,0000773) \cdot 0^2 + (-0,0000008) \cdot 0^3 = 0,475514$$

$$y = y_0 + y_1 \cdot t + y_2 \cdot t^2 + y_3 \cdot t^3 \text{ (2)} \dots \text{ entonces} \dots y = 0,771183 + (-0,230168) \cdot 0 + (-0,0001246) \cdot 0^2 + 0,0000038 \cdot 0^3 = 0,771183$$

$$x' = x_1 + 2 \cdot x_2 \cdot t + 3 \cdot x_3 \cdot t^2 \text{ (3)} \dots \text{ entonces} \dots x' = 0,5189249 + 2 \cdot (-0,0000773) \cdot 0 + 3 \cdot (-0,0000008) \cdot 0^2 = 0,5189249$$

$$y' = y_1 + 2 \cdot y_2 \cdot t + 3 \cdot y_3 \cdot t^2 \text{ (4)} \dots \text{ entonces} \dots y' = -0,230168 + 2 \cdot (-0,0001246) \cdot 0 + 3 \cdot 0,0000038 \cdot 0^2 = -0,230168$$

$$d = d_0 + d_1 \cdot t + d_2 \cdot t^2 \text{ (5)} \dots \text{ entonces} \dots d = 14,79667 + (-0,012065) \cdot 0 + (-0,0000003) \cdot 0^2 = 14,79667$$

$$\mu = \mu_0 + \mu_1 \cdot t \text{ (6)} \dots \text{ entonces} \dots \mu = 88,747787 + 15,00309 \cdot 0 = 88,747787$$

Conociendo el $\Delta T = 75,4s$ y los valores de μ y de la longitud $\lambda = 1^\circ$ (positiva para todas las longitudes al oeste del meridiano de Greenwich), ahora se va a hallar el ángulo horario (H).

$$H = \mu - \lambda - 0,00417807 \cdot \Delta T \text{ (7)} \dots \text{ entonces} \dots H = 88,747787 - (+1) - 0,00417807 \cdot 75,4 = 87,4327605$$

Para una latitud geográfica $\varphi = 0^\circ$ y una altura = 0 m. se van a calcular las siguientes expresiones:

$$\tan u = 0,99664719 \cdot \tan \varphi \text{ (8)} \dots \text{ en este caso} \dots \tan u = 0,99664719 \cdot \tan 0^\circ = 0 \text{ y } \arctan u = 0^\circ$$

$$\rho \cdot \sin \varphi' = 0,99664719 \cdot \sin u + (\text{altura}/6378140) \cdot \sin \varphi \text{ (9)} \dots \text{ entonces} \dots \rho \cdot \sin \varphi' = 0,99664719 \cdot \sin 0^\circ + (0 \text{ m}/6378140) \cdot \sin 0^\circ = 0$$

$$\rho \cdot \cos \varphi' = \cos u + (\text{altura}/6378140) \cdot \cos \varphi \text{ (10)} \dots \text{ entonces} \dots \rho \cdot \cos \varphi' = \cos 0^\circ + (0 \text{ m}/6378140) \cdot \cos 0^\circ = 1$$

Donde φ es la latitud geográfica y la altura del lugar expresada en metros sobre el nivel del mar. La constante 0,99664719 es la diferencia $1 - (1/298,257)$ siendo la última fracción el achatamiento de la Tierra. La latitud geocéntrica del lugar es φ' y ρ es su distancia al centro de la Tierra, expresada en radios ecuatoriales terrestres; $\rho \cdot \sin \varphi'$ es positivo para el hemisferio norte y negativo para el sur, mientras que $\rho \cdot \cos \varphi'$ es siempre positivo.

Después se van a calcular las coordenadas rectangulares del observador ξ , η , ζ y sus cambios horarios ξ' , η' , sobre el Plano fundamental.

$$\xi = \rho \cdot \cos \varphi' \cdot \sin H \text{ (11)} \dots \text{ entonces} \dots \xi = 1 \cdot \sin 87,4327605 = 0,99899634$$

$$\eta = \rho \cdot \sin \varphi' \cdot \cos d - \rho \cdot \cos \varphi' \cdot \cos H \cdot \sin d \text{ (12)} \dots \text{ entonces} \dots \eta = 0 \cdot \cos 14,79667 - 1 \cdot \cos 87,4327605 \cdot \sin 14,79667 = -0,01143936$$

$$\zeta = \rho \cdot \sin \varphi' \cdot \sin d + \rho \cdot \cos \varphi' \cdot \cos H \cdot \cos d \text{ (13)} \dots \text{ entonces} \dots \zeta = 0 \cdot \sin 14,79667 + 1 \cdot \cos 87,4327605 \cdot \cos 14,79667 = 0,04330642$$

$$\xi' = 0,01745329 \cdot \mu_1 \cdot \rho \cdot \cos \varphi' \cdot \cos H \text{ (14)} \dots \text{ entonces} \dots \xi' = 0,01745329 \cdot 15,00309 \cdot 1 \cdot \cos 87,4327605 = 0,01172888$$

$$\eta' = 0,01745329 \cdot (\mu_1 \cdot \xi \cdot \sin d - \zeta \cdot d_1) \text{ (15)} \dots \text{ entonces} \dots \eta' = 0,01745329 \cdot (15,00309 \cdot 0,99899634 \cdot \sin 14,79667 - 0,04330642 \cdot -0,012065) = 0,0668166$$

Continuamos hallando las siguientes diferencias:

$$u = x - \xi \text{ (16)} \dots \text{ entonces} \dots u = 0,475514 - 0,99899634 = -0,52348234$$

$$v = y - \eta \text{ (17)} \dots \text{ entonces} \dots v = 0,771183 - (-0,01143936) = 0,78262236$$

$$a = x' - \xi' \text{ (18)} \dots \text{ entonces} \dots a = 0,5189249 - 0,01172888 = 0,50719602$$

$$b = y' - \eta' \text{ (19)} \dots \text{ entonces} \dots b = -0,230168 - 0,0668166 = -0,2969846 \text{ y la suma de los cuadrados de los valores a y b} \dots n^2 = a^2 + b^2 \text{ (20)} \dots \text{ entonces} \dots n^2 = 0,50719602^2 + (-0,2969846)^2 = 0,34544765 \text{ siendo el valor de } n = 0,58774795$$

La corrección τ al tiempo t en horas se halla mediante la expresión:

$$\tau = - [(u \cdot a + v \cdot b) / n^2] \text{ (21)} \dots \text{ entonces } \dots \tau = - [(-0,52348234 \cdot 0,50719602 + 0,78262236 \cdot -0,2969846) / 0,34544765] = 1,44141937$$

La corrección $\Delta \varphi$ a la latitud φ , en grados, se halla a través de las siguientes expresiones:

$$w = (v \cdot a - u \cdot b) / n \text{ (22)} \dots \text{ entonces } \dots w = [0,78262236 \cdot 0,50719602 - (-0,52348234) \cdot (-0,2969846)] / 0,58774795 = 0,41085086$$

$$Q = [b \cdot \text{sen } H \cdot \rho \cdot \text{sen } \varphi' + a \cdot (\text{cos } H \cdot \text{sen } d \cdot \rho \cdot \text{sen } \varphi' + \text{cos } d \cdot \rho \cdot \text{cos } \varphi')] / (57,29578 \cdot n) \text{ (23)} \dots \text{ entonces } \dots Q = [-0,2969846 \cdot \text{sen } 87,4327605 \cdot 0 + 0,50719602 \cdot (\text{cos } 87,4327605 \cdot \text{sen } 14,79667 \cdot 0 + \text{cos } 14,79667 \cdot 1)] / (57,29578 \cdot 0,58774795) = 0,01456183$$

$$\Delta \varphi = w / Q \text{ (24)} \dots \text{ entonces } \dots \Delta \varphi = 0,41085086 / 0,01456183 = 28^\circ,21423697$$

Por consiguiente, el tiempo y latitud correcta, en una primera aproximación, son:

$$\text{nuevo tiempo} = t + \tau = 0 + 1,44141937 = 1,44141937 \text{ horas}$$

$$\text{nueva latitud} = \varphi + \Delta \varphi = 0^\circ + 28^\circ,21423697 = 28^\circ,21423697$$

Una vez que hemos obtenido este nuevo tiempo (t) y esta nueva latitud (φ), repetimos de nuevo todos los cálculos realizados anteriormente, pero con estos nuevos valores.

Cuando vayamos a situar sobre el elipsoide terrestre a este nuevo observador de longitud $\lambda = 1^\circ$ y de latitud $\varphi = 28^\circ,21423697$, la altura sobre el nivel del mar, presente en las fórmulas (8), (9) y (10), será la real para esas coordenadas geográficas. Para obtener dicha altura he utilizado la aplicación de " Coordenadas geográficas GPS ". Para estas nuevas coordenadas geográficas la altura es 270 metros.

Los resultados de esta segunda aproximación fueron:

x	1,22331785
y	0,43916688
d	14,779273
μ	110,373532
x'	0,51865219
y'	-0,23050352
H	109,058505
u°	28,13414772
altura m.	270
$\rho \cdot \text{sen } \varphi'$	0,46997657
$\rho \cdot \text{cos } \varphi'$	0,88188329
ξ	0,83354343
η	0,52788631

ζ	-0,15854818
ξ'	-0,07540442
η'	0,05564542
u	0,38977442
v	-0,088719426
a	0,594056616
b	-0,286148932
n^2	0,434784474
n	0,65938189
τ	-0,59094806
w	0,089218665
Q	0,009428013
$\Delta \varphi$	9,463146295

Como resultado de los datos obtenidos para la corrección del tiempo τ y de la latitud $\Delta \varphi$ en esta iteración obtenemos unos nuevos valores para ambas magnitudes.

$$\text{Nuevo tiempo} = t + \tau = 1,44141937 - 0,59094806 = 0,85047131 \text{ horas}$$

$$\text{Nueva latitud} = \varphi + \Delta \varphi = 28^\circ,21423697 + 9^\circ,463146295 = 37^\circ,67738327$$

Repetiendo de nuevo con estos valores todos los cálculos anteriores hasta que obtengamos con las sucesivas iteraciones unos resultados para el tiempo (t) y para la latitud (φ), cuyas diferencias con el valor anterior sean menor que 0,0001, entonces finalizamos el proceso y los aceptamos como los valores correctos que buscábamos.

tiempo t (h)	latitud φ°
0,619707848	40,4969221
0,546289171	40,80977598
0,537973667	40,82409195
0,537590098	40,82646826
0,537529865	40,82604735
0,537539793	40,82631528
0,537533568	40,82612004

Los resultados de las iteraciones son mostrados en el cuadro anterior.

Por tanto, aceptando el último valor del tiempo $t = 0,537533568$, entonces el valor resultante para el tiempo del eclipse central, correspondiente a nuestra longitud $\lambda = 1^\circ$ oeste, es igual a:

$$T_0 + t = 18 + 0,537533568 = 18,53753357 \text{ TD} == 18\text{h } 32\text{m } 15,12\text{s TD.}$$

Teniendo en cuenta que $\Delta T = \text{TD} - \text{TU}$, entonces.....

$$\text{TU} = 18\text{h } 32\text{m } 15,12\text{s} - 75,4\text{s} = 18\text{h } 30\text{m } 59,7\text{s}$$

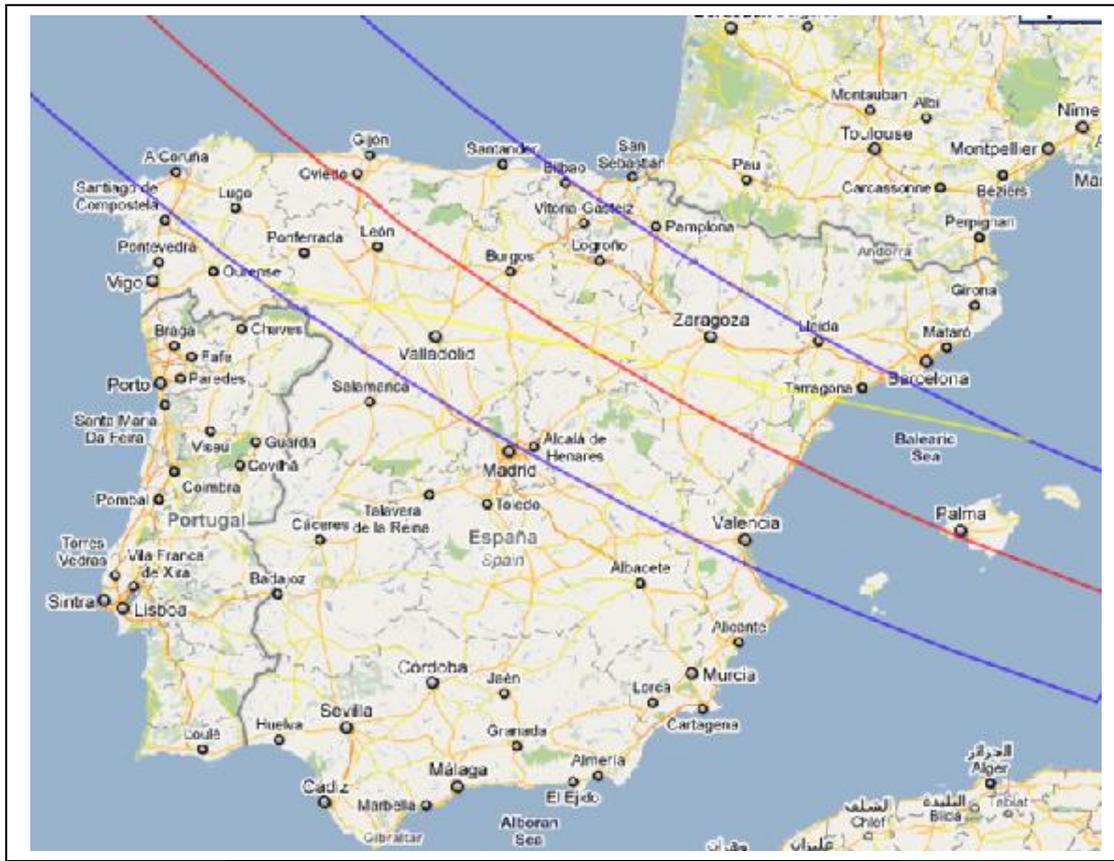
Igualmente, la latitud es $\varphi = 40^\circ,82612004 = 40^\circ 49' 34''$, con lo que ya tenemos sus coordenadas geográficas.

El siguiente cuadro da las coordenadas geográficas (λ, φ) y el tiempo de paso de la línea central del eclipse a intervalos de $0^\circ,5$, comprendidos entre los 8° oeste (+) de longitud hasta los $3^\circ,5$ este (-).

Coordenadas geográficas		Tiempos	
Longitud $^\circ(\lambda)$	Latitud $^\circ(\varphi)$	T. Dinámico (TD)	T. Universal (TU)
8	44,46482732 (44° 27' 53,38")	18h 27m 35,1s	18h 26m 19,7s
7,5	44,15285427 (44° 9' 10,28")	18h 28m 3,7s	18h 26m 48,3s
7	43,85025995 (43° 51' 0,94")	18h 28m 30,7s	18h 27m 15,3s
6,5	43,55674591 (43° 33' 24,29")	18h 28m 56,3s	18h 27m 40,9s
6	43,25937606 (43° 15' 33,75")	18h 29m 21,6s	18h 28m 6,3s
5,5	42,95574079 (42° 57' 20,67")	18h 29m 47,3s	18h 28m 31,9s
5	42,7013967 (42° 42' 5,03")	18h 30m 7,5s	18h 28m 52,1s
4,5	42,44449877 (42° 26' 40,2")	18h 30m 27,3s	18h 29m 11,9s
4	42,19498729 (42° 11' 41,95")	18h 30m 45,8s	18h 29m 30,4s
3,5	41,94050852 (41° 56' 25,83")	18h 31m 4,6s	18h 29m 49,2s
3	41,70760381 (41° 42' 27,37")	18h 31m 20,5s	18h 30m 5,1s
2,5	41,47887365 (41° 28' 43,95")	18h 31m 35,6s	18h 30m 20,2s
2	41,26005273 (41° 15' 36,19")	18h 31m 49,3s	18h 30m 33,9s
1,5	41,03779138 (41° 2' 16,05")	18h 32m 3s	18h 30m 47,6s
1	40,82612004 (40° 49' 34,03")	18h 32m 15,1s	18h 30m 59,7s
0,5	40,6151126 (40° 36' 54,41")	18h 32m 26,8s	18h 31m 11,4s
0	40,43514467 (40° 26' 6,52")	18h 32m 34,9s	18h 31m 19,5s
-0,5	40,26361878 (40° 15' 49,03")	18h 32m 41,8s	18h 31m 26,4s
-1	40,07860321 (40° 4' 42,97")	18h 32m 49,7s	18h 31m 34,3s
-1,5	39,8993921 (39° 53' 57,81")	18h 32m 56,8s	18h 31m 41,4s
-2	39,72584736 (39° 43' 33,05")	18h 33m 2,9s	18h 31m 47,5s
-2,5	39,55615181 (39° 33' 22,15")	18h 33m 8,2s	18h 31m 52,8s
-3	39,3950463 (39° 23' 42,17")	18h 33m 12,4s	18h 31m 57s
-3,5	39,2379115 (39° 14' 16,48")	18h 33m 15,9s	18h 32m 0,5s

La primera coordenada del cuadro nos lleva a un punto sobre el mar Cantábrico, enfrente del cabo de Ortigueira (La Coruña), la última nos indica un punto sobre el mar Mediterráneo, enfrente de la costa sureste de Palma de Mallorca.

La línea central de totalidad atravesará España en, aproximadamente, 4 minutos y 16 segundos. El Sol se encontrará hacia el oeste, más bien bajo en el horizonte, con lo que la fase de totalidad será más nítida que si se encontrara en lo alto. Si para el año 2026 todavía se mantiene el horario de verano (dos horas adelantado sobre la hora solar), entonces el eclipse será visible sobre las 20,30 horas.



Trayectoria de la franja de totalidad del eclipse

Para completar el presente punto del trabajo, voy a calcular la duración del eclipse y la altura del Sol en la línea central, además del ancho de la franja de totalidad del mismo y la ratio del diámetro aparente de la Luna respecto al del Sol, siempre para la longitud que nos sirve de modelo $\lambda = 1^\circ$. Para realizar estos cálculos necesitamos algún dato nuevo, como pueden ser el radio del cono de sombra l_2 , también sometido al proceso iterativo al igual que el resto de elementos besselianos así como L_2 , el radio del cono de sombra en el plano paralelo al fundamental y tangente a la superficie terrestre en el punto del observador del eclipse, que se obtiene en función del valor alcanzado por l_2 en la última iteración.

El valor de l_2 para cada tiempo dado (t) se consigue mediante el siguiente polinomio de 2º grado: $l_2 = l_{20} + l_{21} \cdot t + l_{22} \cdot t^2$ (25), por tanto, para $t = 0$, obtenemos como primera iteración de l_2 : $l_2 = -0,008142 + 0,0000935 \cdot 0 + (-0,0000121) \cdot 0^2 = -0,008142$ y en la segunda iteración, para un valor de $t = 1,44141937$, el valor correspondiente para l_2 fue.... $l_2 = -0,00803237$, hasta llegar a $l_2 = -0,00809524$ en la última iteración.

Igualmente le ocurre al valor B , valor siempre positivo, que solo existe si, para un tiempo (t) dado, hay eclipse central. Con estas premisas, $B = \sqrt{1 - x^2 - y_1^2}$ (26), en la que $y_1 = \omega \cdot y$ (27) ... y_1 . ω es igual a.... $\omega = 1 / \sqrt{1 - 0,006694385 \cdot \cos d^2}$ (28).

Los valores de las distintas variables a utilizar en su cálculo, x , d , y_1 , ω , y finalmente de B , en la primera y última iteración, para unos valores respectivos de $t = 0$ y de $t = 0,53753979$ fueron:

Iteración	x	d°	y ₁	ω	B
1ª	0,475514	14,79667	0,77360732	1,00314364	0,4188295
última	0,75443321	14,7901837	0,64945851	1,00314383	0,09504829

:

El resto de valores necesarios fueron sacados también de esta última iteración, la cual nos permitió alcanzar la latitud y el tiempo de paso correctos, correspondientes a la línea central, para unas coordenadas de : $\lambda = 1^\circ$ oeste. y $\phi = 40^\circ,82612004$.

a	0,53784813
b	-0,28074944
n ²	0,36810086
n	0,60671317

y	0,64742313
H	95,4975184
l ₂	-0,00809524

Así, para calcular la duración, hay que aplicar las siguientes fórmulas:

$$L_2 = l_2 - B \cdot \tan f_2 \quad (29) \dots \text{ entonces.. } L_2 = -0,00809524 - 0,09504829 \cdot 0,0045911 = -0,00853161$$

$$\text{Duración} = 7.200 \cdot |L_2| / n \quad (30) \dots \text{ por tanto.... Duración} = 101,246 = 1\text{m}, 41,24 \text{ s}$$

La altura del Sol se halla por medio de la siguiente expresión:

$\text{sen } h = \text{sen } d \cdot \text{sen } \phi + \cos d \cdot \cos \phi \cdot \cos H \quad (31)$ y sustituyendo valores quedaría :

$$\text{sen } h = \text{sen } 14,7901837 \cdot \text{sen } 40,82612004 + \cos 14,7901837 \cdot \cos 40,82612004 \cdot \cos 95,4975184 = 0,096801704 \dots \text{ entonces.... } \arcsen h = 5^\circ,5550279$$

Para calcular la anchura hay que hallar previamente el valor de K, mediante la siguiente expresión:

$$K^2 = B^2 + [(x \cdot a + y \cdot b)^2 / n^2] \quad (32) \dots K^2 = 0,09504829^2 + [(0,75443321 \cdot 0,53784813 + 0,64742313 \cdot (-0,28074944))^2 / 0,36810086] = 0,14535292 \dots \text{ y } K = 0,38125179$$

$$\text{Anchura} = 12.756 \cdot |L_2| / K \quad (33) \dots \text{ Anchura} = 12.756 \cdot |-0,00853161| / 0,38125179 = 285,4523 \text{ km}$$

Esta anchura es medida perpendicularmente a la dirección del movimiento de la sombra sobre la superficie de la Tierra y, por tanto, perpendicular a la línea central en cada punto.

Para finalizar, la proporción entre el diámetro aparente de la Luna y el Sol se halla con la fórmula siguiente:

$$\text{Ratio} = (L_1 - L_2) / (L_1 + L_2) \quad (34) \text{ en la que } L_1 = l_1 - B \cdot \tan f_1 = [(l_{10} + l_{11} \cdot t + l_{12} \cdot t^2) - B \cdot \tan f_1] \quad (35),$$

ya que $l_1 = l_{10} + l_{11} \cdot t + l_{12} \cdot t^2 \quad (36) \dots \text{ entonces.....}$

$$L_1 = [0,5379550 + 0,0000939 \cdot 0,53753356 + (-0,0000121) \cdot 0,53753356^2] - 0,09504829 \cdot 0,0046141 = 0,53756342 \dots \text{ y por consiguiente....}$$

$$\text{Ratio} = [0,53756342 - (-0,00853161)] / [0,53756342 + (-0,00853161)] = 1,03225367 \text{ resultado que nos indica que la sombra de la Luna oscurece totalmente al Sol en este punto geográfico.}$$

Límites norte y sur de la franja de totalidad para una longitud dada

A continuación se van a desarrollar las operaciones necesarias para delimitar la franja de totalidad del eclipse. El método consiste en hallar la latitud correspondiente a los límites norte y sur para una longitud concreta. Dado que la franja toca por el sur la ciudad de Madrid, la longitud elegida será la suya y que es $\lambda = 3^\circ,68638889$ oeste.

Aunque el desarrollo solo es para esta longitud geográfica, por extensión se puede aplicar al resto de longitudes de España por las que va a pasar el eclipse, al igual que se hizo para hallar la línea central. Fuera de esta franja el eclipse será parcial, disminuyendo su magnitud a medida que se aleja el lugar de la misma. Los pasos a dar son los siguientes:

1°.- Hallar la latitud (φ) del punto sobre la línea central de totalidad del eclipse, para la longitud (λ) de Madrid y su tiempo de paso, de una manera similar a la seguida en el anterior apartado. Aunque no es necesario realizar todas las iteraciones hasta lograr que la diferencia entre dos iteraciones seguidas sea menor que 0,0001, ya que solamente necesitamos la primera iteración, la cual nos servirá de base para después desarrollar las nuevas iteraciones que nos llevarán a la latitud y tiempo exactos de los límites norte y sur de la franja de totalidad, yo he considerado conveniente hallar dicho punto central. Sus coordenadas geográficas son:

Lugar	Latitud (φ)	Longitud (λ)	Tiempo (t)
cerca Lerma (Burgos)	42° 2' 19,56"	3°,68638889	18,5159061 TU

2°.- Calcular las coordenadas del límite norte de la franja para la longitud de Madrid.

Para la realización del cálculo tenemos que partir de ciertas cantidades auxiliares, correspondientes a esta primera iteración, relativa a la línea central, y que necesitamos para encontrar la nueva latitud que, junto al tiempo, nos sirvan como punto de partida de unas nuevas iteraciones a desarrollar. Estas cantidades auxiliares de la primera iteración son:

l_2	ζ	$\tan f_2$	W	Q	τ
- 0,008142	0,08852823	0,0045911	0,41389139	0,014472207	1,48122709

Las tres primeras nos sirven para hallar el radio del cono de sombra, L_2 , en el plano del observador

$$L_2 = l_2 - \zeta \cdot \tan f_2 \quad (37) \dots \text{entonces} \dots L_2 = - 0,008142 - 0,08852823 \cdot 0,0045911 = - 0,00854844$$

Ahora, para encontrar la corrección para la nueva latitud ($\Delta \varphi$), a diferencia de cuando buscábamos la φ de la línea central, que nos servíamos de la fórmula (24), utilizamos la siguiente expresión:

$$\Delta \varphi = (W + i \cdot |L_2|) / Q \quad (38), \quad \text{en la que } i = +1 \text{ para el límite norte e } i = -1 \text{ para el límite sur.}$$

$$\Delta \varphi = (0,41389139 + 1 \cdot | - 0,00854844 |) / 0,014472207 = 29^\circ,18973105$$

Como siempre, hemos comenzado los cálculos para $t = 0h$ y para $\varphi = 0^\circ$ y para una altura del lugar de 0 m, entonces el nuevo tiempo y la nueva latitud de comienzo del proceso iterativo que nos lleve, finalmente, a la latitud (φ) y al tiempo (t) correcto buscados, en una primera aproximación son:

$$\text{nuevo tiempo} = t + \tau = 0 + 0 + 1,48122709 = 1,48122709 \text{ horas}$$

$$\text{nueva latitud} = \varphi + \Delta \varphi = 0^\circ + 0^\circ + 29^\circ,18973105 = 29^\circ,18973105$$

Repitiendo todo el proceso (ahora con la altura correcta en m. de la latitud correspondiente a cada iteración) hasta obtener la diferencia entre valores deseada, nos llevaron sucesivamente a los siguientes resultados :

Tiempo anterior (h)	Latitud anterior (°)	Corrección tiempo (τ)	Corrección latitud ($\Delta \varphi$)	Nuevo tiempo (h)	Nueva latitud (°)
1,48122709	29°,18973105	- 0,63277059	10,24704111	0,8484565	39,43677216
0,8484565	39,43677216	- 0,26104276	3,617407027	0,58741374	43,05417918
0,58741374	43,05417918	- 0,09863976	0,60239994	0,48877398	43,65657912
0,48877398	43,65657912	- 0,01683748	0,05962560	0,4719365	43,71620472
0,4719365	43,71620472	- 0,00171563	0,02586183	0,47022087	43,74206655
0,47022087	43,74206655	- 0,00070978	0,00070554	0,46951109	43,7427709
0,46951109	43,7427709	- 0,00001976	0,00014050	0,46949133	43,7429114
0,46949133	43,7429114	- 0,00000386	0,00000561	0,46948747	43,74291701
0,46948747	43,74291701	- 0,00000015	0,00000078	0,46948732	43,74291779

Estas coordenadas nos dan, como límite norte de la franja de totalidad, un lugar un poco al norte de la bahía de Santander, en el mar Cantábrico y un tiempo de paso de $18,46948732 = 18\text{h}, 28\text{m y }10\text{s TU}$.

3º.- Calcular las coordenadas del límite sur de la franja para la longitud de Madrid

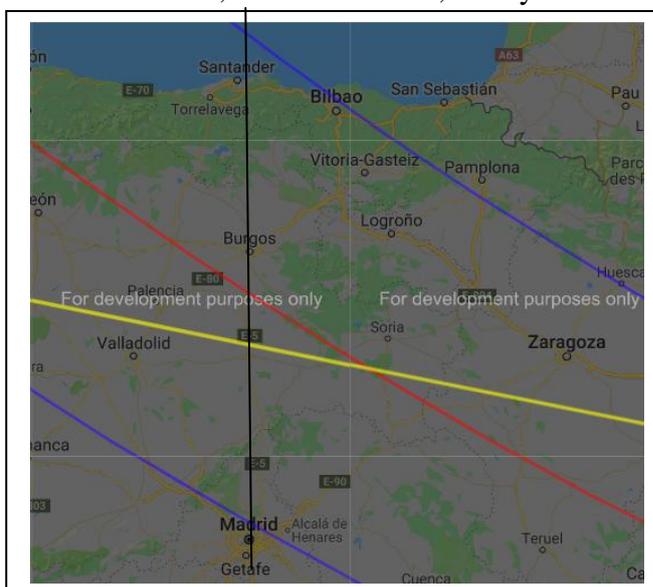
Partimos de las mismas cantidades auxiliares correspondientes a la primera iteración y el mismo valor para L_2 . La variación con respecto al límite norte viene al aplicar la fórmula (38), en la que el valor de $i = -1$, como anteriormente dijimos. El resultado de las iteraciones fueron:

Tiempo anterior (h)	Latitud anterior (°)	Corrección tiempo (τ)	Corrección latitud ($\Delta \varphi$)	Nuevo tiempo (h)	Nueva latitud (°)
1,48122709	28,00837054	- 0,60763413	9,51251816	0,87359296	37,5208887
0,87359296	37,5208887	- 0,23710698	2,7074282	0,63648598	40,2283169
0,63648598	40,2283169	- 0,07211198	0,28492169	0,564374	40,51323859
0,564374	40,51323859	- 0,00768581	0,00125721	0,55668819	40,5144958
0,55668819	40,5144958	- 0,000031	- 0,00111705	0,55665719	40,51337875
0,55665719	40,51337875	0,00002966	- 0,00001276	0,55668685	40,51336599
0,55668685	40,51336599	0,00000032	0,00000473	0,55668717	40,51337072
0,55668717	40,51337072	-0,00000012	0,00000008	0,55668705	40,5133708

Estas coordenadas nos llevan a un punto en el distrito de Fuencarral, en la zona norte de la ciudad de Madrid. El tiempo de paso del eclipse por este punto será a las $18,55668705 = 18\text{h}, 33\text{m y }24\text{s TU}$

En la figura de al lado se muestra la franja de totalidad enmarcada por las líneas azules, la roja es la línea de centralidad donde el eclipse dura más, la amarilla forma parte de otra línea, que une puntos separados por diez minutos en el tiempo de paso.

La vertical negra señala el meridiano de la ciudad de Madrid $\lambda = 3^\circ,686389$ oeste.

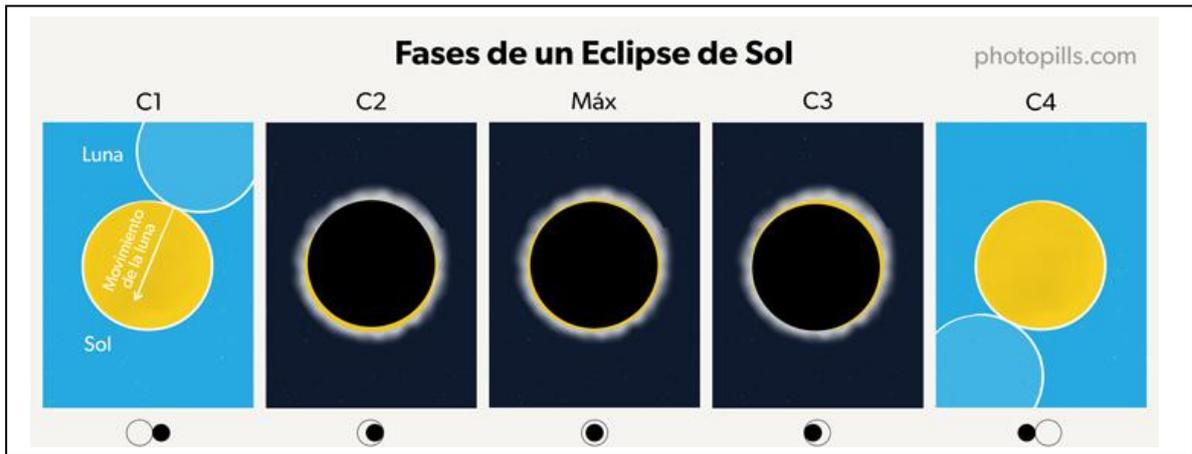


Circunstancias locales del eclipse en Madrid.

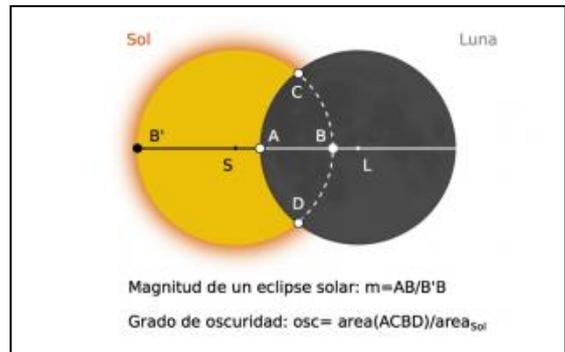
Si observamos en el mapa anterior podemos ver que la franja de totalidad no pasa por el centro de Madrid, pero sí muy cerca. Por tanto el eclipse no será total, pero el tanto por ciento de oscurecimiento del Sol será del 99,98% , por lo que la diferencia será casi inapreciable.

Entendemos por circunstancias locales a la descripción de los siguientes fenómenos:

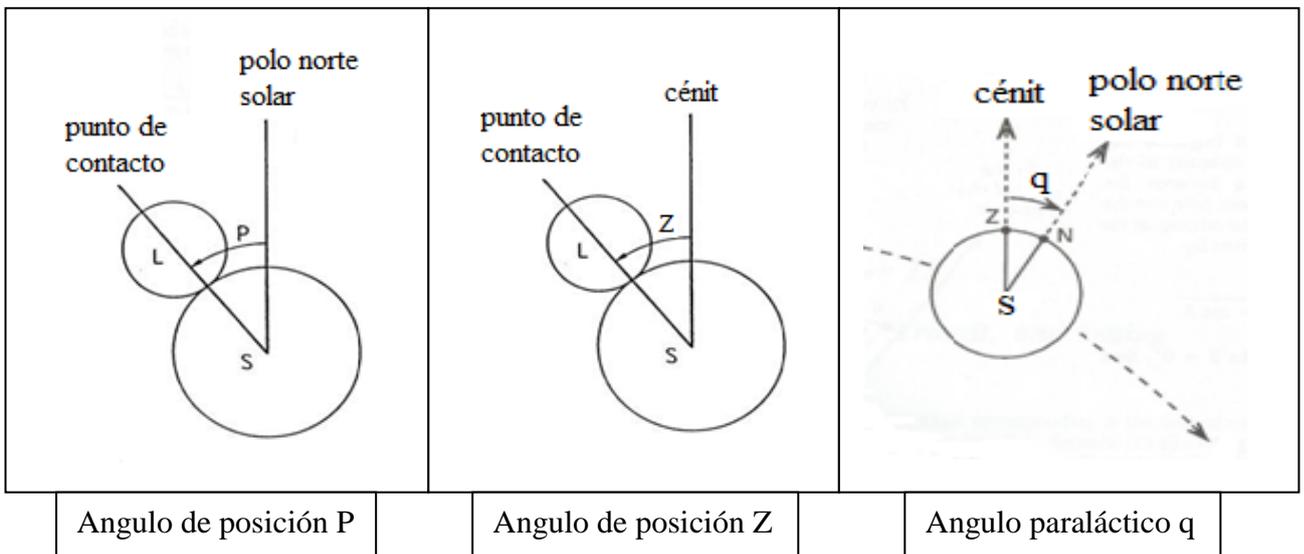
- Tiempo en el que se da el primer contacto entre el Sol y la sombra de la Luna, que corresponde al instante en el que la fase parcial del eclipse comienza.
- Tiempo del último contacto, que corresponde al instante en el que la fase de parcialidad del eclipse finaliza.
- Tiempo del eclipse máximo, que es el instante en el que el eclipse alcanza su máxima magnitud, y por consiguiente el máximo grado de oscuridad.



- Magnitud del eclipse, que nos indica la fracción del diámetro del Sol ocultado por la Luna, expresada en unidades de diámetro solar .
 - Oscurecimiento, que nos da el área del disco solar ocultado por la Luna, expresado en tantos por ciento o porcentajes decimales.
- En el dibujo de al lado se explican ambos conceptos.



- Los puntos correspondientes al primer y último contacto entre los dos astros, mediante el ángulo de posición (P), que va desde el punto norte del disco solar hasta el punto de contacto, del ángulo de posición (Z), que se mide desde el cénit hasta el punto de contacto; en ambos el vértice está en el centro del Sol y se cuentan en sentido antihorario, es decir, hacia el este. El primero es útil cuando se observa el eclipse con un telescopio de montura ecuatorial, mientras que el segundo es más apropiado cuando es el horizonte local el punto de referencia.
 - También se da el ángulo paraláctico (q) del Sol que es la distancia angular entre el polo norte solar y el cénit del lugar.
 - La altura y el acimut del Sol sobre el horizonte en los momentos del primer contacto, en su fase de máxima magnitud y en su último contacto.
- Todos estos datos hacen que nos hagamos una idea general del contexto que rodea a todo el eclipse.



Antes de comenzar el desarrollo matemático correspondiente a las circunstancias locales que rodearán al eclipse en la ciudad de Madrid, es necesario tener sus coordenadas geográficas, además de su altura sobre el nivel del mar. Estas coordenadas están sacadas del Anuario Astronómico 2019 y corresponden, más o menos, al lugar que ocupa el Observatorio Astronómico de Madrid.

Latitud (φ) : 40°,40972222 norte = 40° 24' 35" norte

Longitud (λ) = 3°,68638889 oeste = 3° 41' 11" oeste

Altura sobre el nivel del mar = 655 m

La secuencia a seguir será hallar primero las circunstancias para el momento de máxima magnitud del eclipse, y después, las mismas circunstancias para el primer y último contacto.

Antes de comenzar hay que hallar las coordenadas rectangulares geocéntricas del lugar.

Haciendo uso de las fórmulas (8), (9) y (10) tenemos:

$$\tan u = 0,99664719 \cdot \tan \varphi = 0,84850489 \quad \dots\dots \text{ entonces } \dots\dots u = 40^\circ,31476796$$

$$\rho \cdot \sin \varphi' = 0,99664719 \cdot \sin u + (\text{altura} / 6378140) \cdot \sin \varphi = 0,64488368$$

$$\rho \cdot \cos \varphi' = \cos u + (\text{altura} / 6378140) \cdot \cos \varphi = 0,76257979$$

Eligiendo como tiempo inicial para la primera iteración $t = 0$, las fórmulas (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19) y (20) nos llevan a los siguientes valores:

$$x = x_0 + x_1 \cdot t + x_2 \cdot t^2 + x_3 \cdot t^3 = 0,475514$$

$$y = y_0 + y_1 \cdot t + y_2 \cdot t^2 + y_3 \cdot t^3 = 0,771183$$

$$x' = x_1 + 2 \cdot x_2 \cdot t + 3 \cdot x_3 \cdot t^2 = 0,5189249$$

$$y' = y_1 + 2 \cdot y_2 \cdot t + 3 \cdot y_3 \cdot t^2 = -0,230168$$

$$d = d_0 + d_1 \cdot t + d_2 \cdot t^2 = 14^\circ,79667$$

$$\mu = \mu_0 + \mu_1 \cdot t = 88^\circ,747787$$

$$H = \mu - \lambda - 0,00417807 \cdot \Delta T = 84^\circ,7463716$$

$$\xi = \rho \cdot \cos \varphi' \cdot \sin H = 0,75937629$$

$$\eta = \rho \cdot \sin \varphi' \cdot \cos d - \rho \cdot \cos \varphi' \cdot \cos H \cdot \sin d = 0,60566553$$

$$\zeta = \rho \cdot \sin \varphi' \cdot \sin d + \rho \cdot \cos \varphi' \cdot \cos H \cdot \cos d = 0,23220641$$

$$\xi' = 0,01745329 \cdot \mu_1 \cdot \rho \cdot \cos \varphi' \cdot \cos H = 0,018284$$

$$\eta' = 0,01745329 \cdot (\mu_1 \cdot \xi \cdot \sin d - \zeta \cdot d_1) = 0,05083188$$

$$u = x - \xi = -0,28386229$$

$$v = y - \eta = 0,16551747$$

$$a = x' - \xi' = 0,5006409$$

$$b = y' - \eta' = -0,28099988$$

$$n^2 = a^2 + b^2 = 0,32960224$$

La corrección que hay que aplicar al tiempo $t = 0$, para encontrar el correspondiente tiempo para el momento de máximo eclipse, en una primera aproximación, se obtiene de la fórmula (21):

$$\tau = - [(u \cdot a + v \cdot b) / n^2] = 0,57227603, \text{ en consecuencia el nuevo tiempo } (t) = 0 + \tau = 0,57227603$$

Repitiendo todas las operaciones para este tiempo $t = 0,57227603$ h. obtenemos una nueva corrección

$$\tau = -0,01284943, \text{ que aplicada a } t = 0,57227603 \text{ nos da el nuevo tiempo de la segunda iteración,}$$

$$(t) = 0,57227603 + (-0,01284943) = 0,5594266 \text{ h.}$$

La tercera iteración nos lleva a una corrección $\tau = 0,00000197$ y a un tiempo $(t) = 0,55942858$ h

La cuarta y última nos da $\tau = -1,268 \cdot 10^{-9}$ y, por tanto al mismo valor $(t) = 0,55942858$ h.

Con este resultado podemos hallar el Tiempo Universal del instante del eclipse máximo:

$T_0 + t = 18 + 0,55942858 = 18,55942858$ TD = 18h 33m 33,94 s, y su expresión en Tiempo Universal, TU = TD - $\Delta T = 18h 33m 33,94s - 75,4s = 18h 32m 18,54s$ TU

Hallado el tiempo, ahora se van a calcular las circunstancias que rodearán al eclipse en ese momento.

La magnitud la encontramos a través de la siguiente fórmula:

$G = (L_1 - m) / (L_1 + L_2)$ (39). Como podemos ver, necesitamos los valores L_1 y L_2 correspondientes a la última iteración. Teniendo en cuenta que l_1 y l_2 (respectivamente los radios de los conos de penumbra y de sombra) y sus homólogos, sobre el plano paralelo al fundamental en el punto de observación, L_1 y L_2 , son iguales a :

$l_1 = l_{10} + l_{11} \cdot t + l_{12} \cdot t^2$ (36) .. y su homólogo.... $L_1 = l_1 - \zeta \cdot \tan f_1$ (35)

$l_2 = l_{20} + l_{21} \cdot t + l_{22} \cdot t^2$ (25)... y su homólogo.... $L_2 = l_2 - B \cdot \tan f_2$ (29)

Los valores obtenidos, para $(t) = 0,55942858$ fueron:

$l_1 = 0,53800374$ $L_1 = 0,53743048$ y $l_2 = -0,00809348$ $L_2 = -0,00866389$

El valor de m es igual a..... $m = \sqrt{u^2 + v^2}$ (40), y sustituyendo u y v de la última iteración....

... $u = 0,00435457$ y $v = 0,00820299$, nos da que $m = 0,00928716$, y por consiguiente.....

$G = (0,53743048 - 0,00928716) / [0,53743048 + (-0,00866389)] = 0,99882127$, valor que nos informa claramente que el eclipse en Madrid, en su máxima fase, no es total, aunque muy cerca de serlo.

La ratio entre el diámetro aparente de la Luna, respecto del Sol (A), se calcula con la fórmula (34)

$A = (L_1 - L_2) / (L_1 + L_2) = [(0,53743048 - (-0,00866389))] / [(0,53743048 + (-0,00866389))] = 1,03277018$

La altura del Sol en este instante se halla mediante la expresión:

$\text{sen } h = \text{sen } d \cdot \text{sen } \varphi + \cos d \cdot \cos \varphi \cdot \cos H$ (41), en la que d y H son los valores de la declinación del eje de sombra y su ángulo horario, obtenidos en la última iteración, $d = 14^\circ,7899196$ y $H = 93^\circ,1395289$
 $h = \text{arc sen} (\text{sen } 14,7899196 \cdot \text{sen } 40,4097222 + \cos 14,7899196 \cdot \cos 40,4097222 \cdot \cos 93,1395289) = 7^\circ,19012189$

El acimut del Sol (A) nos lo da la fórmula :

$\cos A = (\text{sen } \varphi \cdot \cos d \cdot \cos H - \cos \varphi \cdot \text{sen } d) / \cos h$ (42) y entonces.....

$A = \text{arc cos} (\text{sen } 40,4097222 \cdot \cos 14,7899196 \cdot \cos 93,1395289 - \cos 40,4097222 \cdot \text{sen } 14,7899196) = 103^\circ,3273137$, a contar desde el punto sur en sentido horario hacia el oeste del horizonte local.

Los ángulos de posición P , Z , del centro de la Luna, y el ángulo paraláctico q se hallan de la siguiente forma:

$\tan P = u / v$ (43) entonces... $P = \text{arc tan } 0,00435457 / 0,00820299 = 27^\circ,961667$ con P teniendo el mismo signo algebraico que $\cos v$, en este caso positivo.

$\text{sen } q = (\cos \varphi \cdot \text{sen } H) / \cos h$ (44), por tanto.... $q = \text{arc sen} (\cos 40,4097222 \cdot \text{sen } 93,1395289) / \cos 7,19012189 = 50^\circ,0238156$.

El ángulo Z , medido desde el vértice del limbo del Sol hacia el este, se halla en función de los dos anteriores. $Z = P - q$ (45), por lo que..... $Z = 27^\circ,961667 - 50^\circ,0238156 = -22^\circ,0621486$, pero como se mide en sentido antihorario entonces... $Z = 360^\circ - 22^\circ,0621486 = 337^\circ,9378514$

Como anteriormente se dijo, ahora que conocemos las circunstancias del eclipse en su máxima fase, lo siguiente será conocer las circunstancias correspondientes al comienzo y final del eclipse de sol.

Una vez que se conoce el tiempo de la fase máxima, $t = 0,55942858$, el objetivo siguiente será hallar

los tiempos desde los que se iniciará, en una primera aproximación, el nuevo proceso iterativo que nos conduzca a los instantes exactos y correctos en los que se producen, tanto el comienzo como el final del eclipse y, posteriormente, las circunstancias que rodearán a cada una de dichas fases. Es necesario saber la corrección (τ) que hay que aplicar a $t = 0,55942858$, para dar comienzo a las iteraciones.

Para ello utilizamos la siguiente expresión : $\tau = (L_1 / n) \cdot \sqrt{1 - S^2}$ (46), en la que S es igual a....
 $S = (a \cdot v - u \cdot b) / (n \cdot L_1)$ (47) y los valores de L_1 , n, a, v, u y b son los obtenidos en la última iteración llevada a cabo para hallar el tiempo en el máximo eclipse, a saber:

L_1	n	a	v	u	b
0,53743048	0,59978528	0,52976714	0,00820299	0,00435457	-0,28122797

Sustituyendo valores :

$$S = [0,52976714 \cdot 0,00820299 - 0,00435457 \cdot (-0,28122797)] / (0,59978528 \cdot 0,53743048) = 0,01728067, \text{ llevando este valor a la fórmula (46).....}$$

$$\tau = (0,53743048 / 0,59978528) \cdot \sqrt{1 - 0,01728067^2} = 0,89590433$$

Sumando y restando esta corrección τ al tiempo $t = 0,55942858$, obtenemos los tiempo aproximados sobre los que realizar las iteraciones que nos lleven a los tiempos exactos del comienzo y final del eclipse en la ciudad de Madrid. Estos tiempos aproximados son:

Primer contacto: $t = 0,55942858 - \tau = 0,55942858 - 0,89590433 = -0,33647575 \text{ h}$

Último contacto: $t = 0,55942858 + \tau = 0,55942858 + 0,89590433 = 1,45533291 \text{ h}$

Se va a desarrollar el proceso que nos de el valor final del tiempo t del primer contacto. Se tiene que repetir todo el proceso iterativo, comenzando por $t = -0,33647575$.

Hay que calcular de nuevo los valores de: $x, y, x', y', d, \mu, H, \xi, \eta, \zeta, \xi', \eta', u, v, a, b, n^2, l_1, L_1, S, \tau$ y la corrección total τ_t , a aplicar en cada tiempo t obtenido en cada iteración.

Sirviéndonos de las fórmulas (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (36), (35), (47), (46) y de la nueva expresión de la corrección

$$\text{total } \tau_t = [- (u \cdot a + v \cdot b) / n^2] - [(L_1 / n) \cdot \sqrt{1 - S^2}] \text{ (48)}$$

Los valores obtenidos en la primera iteración, para $t = -0,33647575$, y en la última para.....

$t = -0,36758743$ son los siguientes:

Primera iter. ($t = -0,33647575$)

Última iter. ($t = -0,36758743$)

x	0,30089991
y	0,84861469
x'	0,51897420
y'	-0,23008286
d	14,80072924
μ	83,6996111
H	79,69819574
ξ	0,75028655
η	0,58864854
ζ	0,29659043
ξ'	0,03571013

x	0,28475367
y	0,85577284
x'	0,51897848
y'	-0,23007485
d	14,80110454
μ	83,23283963
H	79,23142426
ξ	0,74915066
η	0,58708628
ζ	0,30249938
ξ'	0,03730947

η'	0,05025102
u	-0,44938664
v	0,25996615
a	0,48326407
b	-0,28033388
n^2	0,31213124
l_1	0,53792203
L_1	0,53655353
S	-0,00115423
τ	0,96038230
τ_t	-0,03112661

η'	0,05017752
u	-0,46439698
v	0,26868655
a	0,48166901
b	-0,28025238
n^2	0,31054643
l_1	0,53791884
L_1	0,53652308
S	-0,00244282
τ	0,96277286
τ_t	$4,61 \cdot 10^{-11}$

Nuevo tiempo para la segunda iteración:
 $t = -0,33647575 + (-0,03112661) =$
 $= -0,36760236 \text{ h}$

Nuevo tiempo para última iteración:
 $t = -0,36758743 + 4,61 \cdot 10^{-11} =$
 $= -0,36758743 \text{ h}$

Ahora que tenemos el tiempo, a sumar a la hora tomada como referencia para el eclipse $t = 18\text{h}$, podemos hallar el TU correspondiente al primer contacto.

$$T_0 + t = 18 \text{ h} + (-0,36758743) \text{ h} = 17,63241257 \text{ TD} = 17 \text{ h}, 37 \text{ m}, 56,69 \text{ s TD}$$

$$\text{TU} = \text{TD} - \Delta T = 17 \text{ h}, 37 \text{ m}, 56,69 \text{ s} - 75,4 \text{ s} = 17 \text{ h}, 36 \text{ m}, 41,29 \text{ s TU}$$

La magnitud del eclipse en ese instante obviamente tiende a cero. Podemos comprobarlo aplicando la expresión (39) a los valores de la última iteración, más los de $l_2 = -0,008178004$ (25), de L_2 , $L_2 = -0,009566809$ (37) y de $m = 0,536523086$ (40) nos da:

$$G = (L_1 - m) / (L_1 + L_2) = (0,53652308 - 0,536523086) / [0,53652308 + (-0,009566809)] =$$

$$= -4,87 \cdot 10^{-11} \text{ es decir prácticamente cero.}$$

Los ángulos de posición P (43), Z (45) y el paraláctico q (44) adquieren los siguientes valores:

$$P = 300,0524225 \dots\dots\dots q = 51,71675889 \dots\dots\dots Z = 248,3356636$$

Para hallar la altura del Sol en ese momento aplicamos la fórmula (41).

$\text{sen } h = \text{sen } d \cdot \text{sen } \varphi + \text{cos } d \cdot \text{cos } \varphi \cdot \text{cos } H$, sustituyendo los valores d y H de la última iteración, más la latitud de Madrid, hallamos que el Sol estará, cuando se inicie el eclipse, a una altura sobre el horizonte igual a $h = 17,6469659$.

Solo nos queda saber el acimut que tendrá. Aplicando la fórmula (42)

$$\text{cos } A = (\text{sen } \varphi \cdot \text{cos } d \cdot \text{cos } H - \text{cos } \varphi \cdot \text{sen } d) / \text{cos } h$$
, obtenemos que $A = 94,6598$.

Para calcular las circunstancias que rodearán al último contacto, actuaremos de una forma similar al primer contacto, pero comenzaremos las iteraciones por su tiempo aproximado, calculado anteriormente y que era igual a $t = 1,45533291 \text{ h}$. No se van a desarrollar las operaciones a realizar con objeto de no repetirme y evitar sobrecargar la exposición. Solo se recogerán los resultados.

El nuevo tiempo obtenido en la última iteración, a sumar a la hora de referencia $t = 18 \text{ h}$, es el siguiente: $t = 1,42809568 \text{ h}$.

$$T_0 + t = 18 + 1,42809568 = 19,42809568 \text{ TD} = 19 \text{ h}, 25 \text{ m}, 41,14 \text{ s}$$

$$\text{TU} = \text{TD} - \Delta T = 19 \text{ h}, 25 \text{ m}, 41,14 \text{ s} - 75,4 \text{ s} = 19 \text{ h}, 24 \text{ m}, 25,74 \text{ s TU}$$

Al igual que en el primer contacto, su magnitud tiende a cero. Volviendo a aplicar la fórmula (39) queda que $G = -1,584 \cdot 10^{-10}$

Los ángulos relacionados con este último contacto son:

$$P = 115^{\circ},9452435 \dots\dots\dots q = 47^{\circ},04377091 \dots\dots\dots Z = 68^{\circ},90147258$$

Respecto a la altura, el resultado de aplicar la expresión (41) da $h = -2^{\circ},27484473$, lo cual nos indica que el Sol estará por debajo del horizonte y, por consiguiente, no se podrá ver esta última fase del eclipse. Su acimut entonces será $A = 111^{\circ},6607719$.

El cuadro siguiente recoge a modo de síntesis las principales características del eclipse total en la ciudad de Madrid.

Elemento a medir	Primer contacto	Eclipse máximo	Último contacto
Tiempo Universal	17 h, 36 m, 41,29 s	18h 32m 18,54s	19 h, 24 m, 25,74 s
Magnitud	0	0,99882127	0
Oscurecimiento	0	99,98%	0
Ratio entre diámetros	-----	1,03277018	-----
Ángulo P	300°,0524225	27°,961667	115°,9452435
Ángulo Z	248°,3356636	337°,9378514	68°,90147258
Ángulo paraláctico q	51°,71675889	50°,0238156	47°,04377091
Altura del Sol	17°,6469659	7°,19012189	- 2°,27484473
Acimut del Sol	94°,65979802	103°,3273137	111°,6607719

La batalla del eclipse solar del año 585 a.C.

Como ya apuntamos en la introducción, esta segunda parte del trabajo se dedica al estudio de este eclipse histórico, vinculado totalmente a la batalla, que tuvo lugar entre medos y persas.

Los historiadores clásicos en sus escritos no nos han dejado constancia ni del año en el que ocurrió ni del lugar físico de la batalla. Si ha pasado a la posteridad es fundamentalmente por la predicción del eclipse, supuestamente hecha por Tales de Mileto, a la que hoy en día no se le puede asignar una fecha con suficiente exactitud como para decir a cuál de los varios eclipses que se sucedieron en el último cuarto del siglo VI a.C. le puede corresponder este protagonismo histórico.

Desde siempre se ha sabido la fuerte impresión que este tipo de eventos producían en el mundo griego, por lo que no resulta extraño que sus grandes figuras literarias e históricas dejaran constancia escrita de los mismos. Otro importante factor, que ayuda a entender estos registros, es la enorme difusión de las ideas y de la cultura griega en general por todo el mar Mediterráneo, transmitida por las numerosas colonias o fundaciones de nuevas ciudades que tuvieron lugar a partir del siglo VII, y que se prolongaron hasta la expansión mediterránea de la República Romana, alcanzando puntos tan distantes como pudieron ser España en el occidente y Asia Menor y Egipto en oriente. Otro hecho importante para esta expansión fue la caída del Imperio Asirio, en el año 612 a.C. a manos de los babilonios y medos, lo que supuso una verdadera diáspora de los famosos astrónomos caldeos por todos los territorios circundantes, una vez liberados de la férrea disciplina asiria. Sus registros y conocimientos astronómicos acumulados a lo largo del tiempo, (recuérdense por ejemplo las extraordinarias tablillas mesopotámicas " Mul- apín "), eran fundamentales para la astronomía de esa época. Un testigo privilegiado, y a la vez protagonista de este momento, fue Tales, ya que desde su ciudad natal de Mileto, en la costa mediterránea de Turquía, pudo observar, a lo largo de su dilatada vida, numerosos eclipses, tanto de sol como de luna.

Importantes para él fueron tres ciclos, con varios eclipses cada uno de ellos. El primero de ellos, compuesto de tres eclipses parciales, tuvo lugar entre los años 610 y 607, el segundo, con cuatro eclipses también parciales, se dio entre el 597 y el 594, y el tercero, con dos eclipses parciales, más otro, el correspondiente a la batalla objeto de estudio, que fue casi total desde Mileto.

Este último ciclo fue seguido por dos eclipses parciales, sucedidos en el mismo año para los antiguos griegos, ya que en su calendario ático el año comenzaba después del solsticio de verano, mientras que en nuestra cronología corresponden a los años 582 y 581 a.C., siendo el primero de ellos, ocurrido el 21 de septiembre, el mejor candidato para asignarle el calificativo del eclipse elegido por Tales para su predicción.

Además de Tales hubo otros autores griegos, en el entorno de mediados del I milenio a.C. que vieron eclipses de sol y que los dejaron citados en sus obras. Siguiendo un orden cronológico éstos fueron :

Arquiloco (680 - 645), fragmento 122, 1 - 4, refiriéndose al eclipse total de sol en Grecia el 6 de abril del 648 a.C.

- *" Nada puede sorprender ya o ser imposible o milagroso, ahora que Zeus, padre de los Olímpicos ha hecho la noche al mediodía, escondiendo la brillante luz solar, y el miedo ha llegado a los hombres "*.

Herodoto (484 - 426), Son tres las ocasiones en las que nuestro autor cita en su Historia la ocurrencia de eclipses de sol. La primera es el texto que nos habla de la batalla del eclipse. Dentro de un contexto general de enfrentamiento entre el reino lidio y el medo él nos cuenta:

- Libro I, 74. 2 *" Aliates, como es natural, no se avino a entregar a los escitas pese a las reclamaciones de Ciaxares, se entabló entre los lidios y los medos una guerra que duro cinco años, en el transcurso de los cuales, unas veces los medos vencieron a los lidios y, otras, los lidios a los medos. Y durante esos años hasta libraron un combate nocturno; llevaban la guerra con suerte equilibrada, cuando, en su quinto año, ocurrió en el curso de un combate que, en plena batalla, de improviso el día se tornó en noche (Tales de Mileto, por cierto, había predicho a los jonios que se produciría esa inversión del día, fijando su cumplimiento en el ámbito del año en que justamente se produjo la inversión "*.

La segunda cita nos cuenta como el rey persa Jerjes, durante los preparativos de la invasión de Grecia correspondiente a la II Guerra Médica, después de pasar el invierno del 481/480 a.C., abandona Sardes con sus tropas para dirigirse al Helesponto, a comienzos de abril del 480.

- Libro VII, 37.2 *" Estando las tropas en marcha el sol desapareció, abandonando su posición habitual en el cielo, a pesar de que no había nubes y de que el tiempo era espléndido y, en pleno día, se hizo la noche. Este fenómeno dejó preocupado al rey y preguntó a los magos a qué se debía el prodigio. Estos le tranquilizaron diciéndole que para los griegos era Helios (Apolo) quien predecía el eclipse, mientras que para los persas era la luna "*.

Aunque el eclipse, que fue anular, tuvo lugar el 17 de febrero del 478 a.C., la tradición local posterior lo asociaría con esta marcha de Jerjes.

En la tercera, nos relata como Cleómbroto, quien mandaba las tropas espartanas que protegían el Istmo de Corinto mediante la construcción de un muro, durante la II Guerra Médica, las ordenó regresar a Esparta.

- Libro IX, 10.3 *" La razón de que Cleómbroto ordenara a las tropas regresar del Istmo se debió a que, mientras estaba ofreciendo un sacrificio relativo a la contienda con el Persa, el sol se oscureció en el cielo "*.

Este eclipse fue parcial y sucedió el 2 de octubre del 480 a.C. pasadas las catorce horas.

Jenofonte (431 - 354) también recoge tres veces en sus obras el suceso astronómico, una en su "Anábasis " y dos en "Helénicas".

En Anábasis nos cuenta como los griegos, en su huida por el territorio mesopotámico después de la muerte de Ciro el Joven, por el cual habían sido contratados como tropa mercenaria, al llegar a la ciudad de Larisa y sitiarse vieron el eclipse. Aquí Jenofonte nos habla del eclipse de sol ocurrido el 19 de mayo del 557 a.C.

- Anábasis III, IV. 8 " *Esta ciudad fue sitiada por el rey de Persia Ciro el Grande, en el tiempo cuando los persas estaban buscando arrebatar a los medos su imperio, pero no había forma de capturarla. Una sombra, sin embargo, se extendió sobre el Sol y lo escondió de la vista, hasta que los habitantes abandonaron la ciudad y así fue tomada* ".

En Helénicas nos refiere, en dos ocasiones, el fenómeno solar, la primera después de la derrota ateniense ante Esparta, en la batalla de Egospótamos (405 a.C.) y su posterior rendición, que puso final a la Guerra del Peloponeso y la segunda durante la posterior hegemonía espartana, teniendo como rey a Agesilao II.

- Helénicas II,3. 4 " *Por esta fecha, durante un eclipse de sol, Licofrón de Feras intentó mandar sobre Tesalia entera, venció en una batalla a los tesalios que se le oponían, lariseos y otros, y dio muerte a muchos* ". El eclipse ocurrió el 3 de septiembre del 404 a.C. y fue parcial en Grecia.

- Helénicas IV, 3. 10 " *Cuando iba a entrar (en Beocia) se vio el sol en forma de media luna y se anunció que los lacedemonios habían sido derrotados en la batalla naval y que el navarco Pisandro había muerto* ". el eclipse se dio el 14 de agosto del 394 a.C. y fue casi total en Beocia.

Tucídides (455 - 398 a.C.) el gran narrador de la Guerra del Peloponeso, el largo conflicto por la hegemonía en Grecia entre las dos potencias de Esparta y Atenas, nos informa de los principales sucesos acontecidos entre los años 431 y 411 a.C. Desde aquí, hasta su final en el año 404, es Jenofonte nuestro principal narrador.

- Guerra del Peloponeso II, 28 " *Durante el mismo verano, al comienzo de un mes lunar (el único periodo, según parece, en el que es posible el fenómeno) el sol se eclipsó después del mediodía y luego volvió a su plenitud, después de mostrarse en forma de media luna y de aparecer algunas estrellas* ".

Hay que decir que el eclipse fue anular, y tuvo lugar el 3 de agosto del 431 a.C., además añadir que difícilmente Tucídides pudo observar las estrellas desde Atenas, pues en esta ciudad solo fue parcial.

- Guerra del Peloponeso IV, 52 " *Acababa de empezar el verano siguiente cuando se produjo un eclipse parcial de sol en la época de la luna nueva y, en los primeros días del mismo mes tembló la tierra* "

Aunque Tucídides localiza el eclipse, que fue parcial, en el verano, hay que decir que el eclipse ocurrió el 21 de marzo del 424 a.C. Esto se justifica teniendo en cuenta que el verano tucideo se identifica con la parte del año que corresponde al " buen tiempo ", un periodo hábil para la guerra y la navegación que abarca la primavera y buena parte del otoño.

Una vez realizada estas reseña histórica sobre las citas de eclipses solares, es el momento de presentar la estructura del desarrollo que voy a seguir y que comenzará por describir el marco físico y el contexto histórico que rodearon al eclipse, junto con un comentario general sobre las principales vías de comunicación o los caminos existentes en Anatolia en la época antigua persa. Una vez hecho esto estaré más preparado para delimitar el área física de estudio, acotando su longitud geográfica (λ). Seguiré con el mapa ortográfico y los elementos besselianos del eclipse, elementos que me permitirán

calcular la línea central del eclipse para un intervalo de meridianos en concreto y, eligiendo de entre ellos uno, trabajar en este meridiano los límites norte y sur de la franja de totalidad.

Teniendo en cuenta que mi objetivo historiográfico, entendido como el conjunto de técnicas y métodos utilizados para describir los hechos históricos, es el poder sugerir un lugar para la batalla y hacer una posible descripción de las circunstancias del eclipse solar, es imprescindible ya elegir una latitud (ϕ) sobre la que trabajar que, junto con el meridiano (λ) a elegir, nos llevaría a un punto geográfico concreto sobre el que poder explorar las circunstancias locales que se dieron durante el eclipse de sol. El intervalo de meridianos elegido, separados $0^{\circ},5$ entre dos de ellos, es $32^{\circ} \leq \lambda \leq 37^{\circ}$. El meridiano elegido en este intervalo es $\lambda = 34^{\circ}$ Este y la latitud en este meridiano es $\phi = 40^{\circ}$. Estas coordenadas geográficas no llevan cerca de un lugar llamado Delice, en la actual Turquía. Es en el entorno de este sitio donde pienso que se pudo dar la batalla, el 28 de mayo del 585 a.C.

En esta ocasión no se van a desarrollar detalladamente los cálculos necesarios, como se hizo para el eclipse de sol del 12 agosto del 2026, y que nos servirá de modelo a seguir. Solo se darán los resultados obtenidos y los comentarios derivados de los mismos.

Finalmente, no podía faltar, pues sería un grave olvido, una aproximación a la figura de Tales de Mileto, su biografía, sus aportaciones científicas, deteniéndonos en los posibles ciclos de eclipses solares que hay y que le pudieron servir de soporte para realizar su famosa predicción.

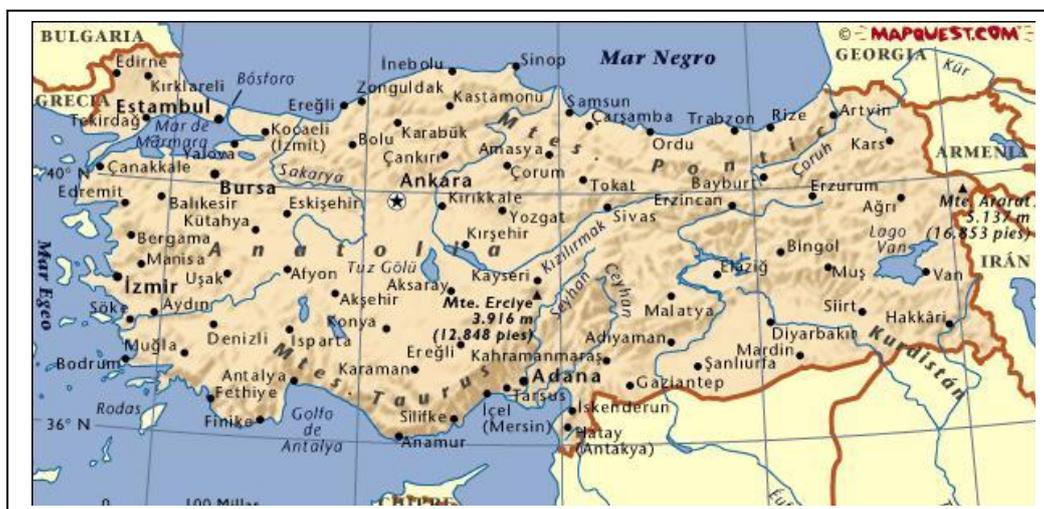
El marco geográfico

La península de Anatolia, también llamada Asia Menor, está limitada al norte por el mar Negro, conocido como Ponto Euximo o " mar hospitalario " por los griegos, al oeste por el mar Egeo y el Mediterráneo por el sur, mientras que el mar de Mármara separa, por el noroeste, la Turquía asiática de la europea.

Su relieve se articula alrededor de una amplia meseta central, rodeada de montañas y de llanuras costeras.



Localización de Delice dentro de Turquía



Mapa físico de Turquía

Por el este se vuelve muy montañosa, teniendo como montaña más alta el monte Ararat (5.165 m), al norte limita con los montes Pónticos, altas montañas próximas al mar Negro, del que es separado por una estrecha franja costera, por el sur y sureste encontramos, respectivamente, las cordilleras del Taurus y el Antitaurus que se prolongan hasta el Altiplano Armenio, junto al cual encontramos el lago Van, el mayor del país, salino y de origen volcánico. Por el oeste, esta meseta va descendiendo hasta tocar el mar Egeo, cuyas costas se caracterizan por ser muy recortadas, de roca caliza y con numerosos puertos naturales, que albergaron las prósperas ciudades de la Jonia griega en la antigüedad. La Anatolia central, morfológicamente hablando, supone los restos de un antiguo macizo, recubierto de materiales sedimentarios y salpicado de formaciones volcánicas, algunas muy erosionadas, como en la zona de Goreme, en la región de la Capadocia.

El relieve de esta región central es más bien plano, con zonas hundidas, como la gran depresión del lago Tuz, un antiguo mar convertido en lago salino, poco profundo, de carácter endorreico y seco la mayor parte del año. El paisaje asociado es ondulado, con predominio de tonos amarillos y tostados, cruzado de vez en cuando por barrancos y gargantas sobre las que se alzan picos volcánicos. Es una meseta esteparia, cubierta de trigales flanqueados por hileras de álamos.

Dentro de esta zona central-norte encontramos la ciudad de Delice. Está encuadrada en la provincia de Kirikkale, una de las ochenta y una que forman el país, situada al norte del río Kizil Irmak, el antiguo Halis. Se encuentra a unos 100 km de distancia de Ankara . La altura de Delice sobre el nivel del mar es de unos 700 m.

El clima en la meseta interior es muy riguroso, de tipo continental, con inviernos muy fríos y veranos calurosos. Las precipitaciones se producen fundamentalmente en el invierno, siendo de unos 400 l/m² de promedio anual.

El contexto histórico

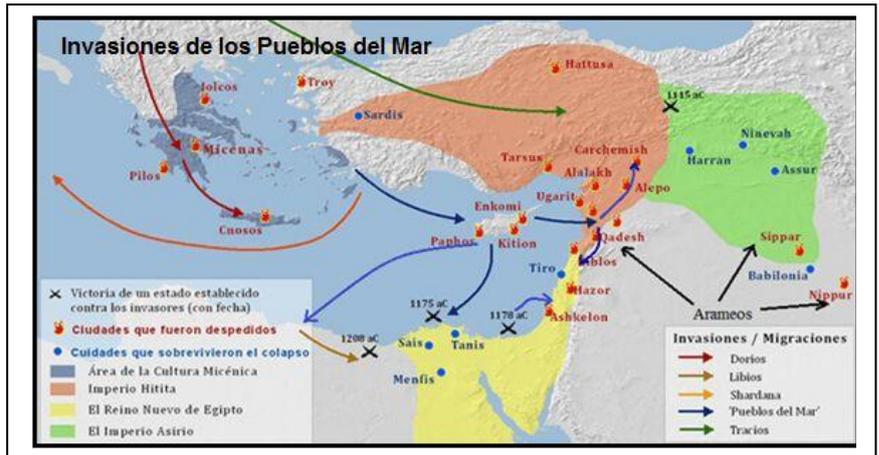
Antes de empezar a desarrollar el contexto histórico que rodeo el conflicto medo-lidio en general y el momento que acompañó a la batalla en particular, es necesario resaltar la importancia que ha tenido la disposición del relieve, analizada en el punto anterior, en el devenir histórico de Anatolia.

Desde siempre este relieve ha dificultado las comunicaciones norte - sur, mientras que ha favorecido las este - oeste o viceversa. Hay que matizar lo anterior cuando nos referimos a su parte oriental, ya que el flujo de culturas y pueblos que han llegado a ella procedentes tanto de la Alta Mesopotamia como de allende el Cáucaso ha sido una constante a lo largo de toda su historia.

Esto se puede constatar ya desde el Neolítico, cuando la difusión de los avances neolíticos, representados fundamentalmente por la agricultura, la ganadería y el uso de la cerámica, se extienden desde las regiones vecinas de Palestina y Mesopotamia hasta materializarse en una eclosión de poblados neolíticos, como pueden ser el emblemático Catal Hüyük, o los no menos importantes de Can Hasan y Hacilar , todos en el sur de Anatolia; y los de Cayonu y el misterioso y más moderno de Gobekli Tepe en el sureste.

El siguiente hito lo representa la irrupción, a comienzos del II milenio a.C. de distintos pueblos, como el hitita, que se asentó, en un principio, dentro del arco que forma el río Halis, para expansionarse posteriormente durante su época imperial, mientras que sus primos hermanos luvtas ocuparon amplias zonas del oeste y sur de la península. Por el este nos encontramos con el componente hurrita y su reino de Mitanni, asentado en el norte del río Eufrates y la actual Siria. Todos estos pueblos hablaban lenguas indoeuropeas y procedían de las llanuras del sur de Rusia desarrollándose dentro del es-

tadio cultural asociado a la Edad del Bronce local, hasta que en el siglo XIII a.C. colapsan, los hititas como consecuencia del cataclismo que supuso en la zona la llegada de los Pueblos del Mar y los mitannios absorbidos por los asirios, mientras que el componente luwita perdura a través de los numerosos reinos neohititas que se formaron.



Surge un nuevo orden en la zona

con la llegada de estos nuevos pueblos, entre los que se encuentran los frigios, que se asientan al oeste del Halis y los bíblicos filisteos, que lo hacen en ciertas partes de la Tierra de Canaán. En Egipto, son rechazados por el faraón Ramsés III en el Delta del Nilo.

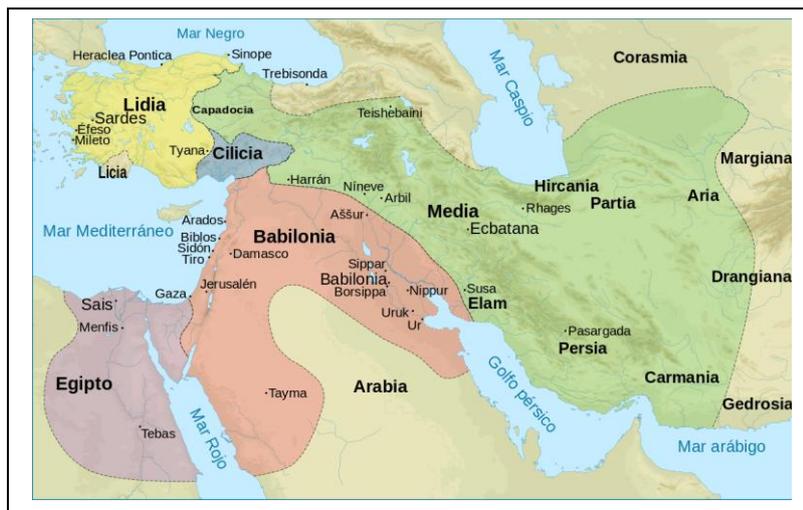
Como resultado de estas invasiones aparecen múltiples estados pequeños, dirigidos por soberanos propios, junto con otro cambio muy importante, como fue la difusión en la región de la tecnología del hierro, que ellos traían asociada.

Después de este caos en el Próximo Oriente nos encontramos con un periodo oscuro, con muy poca información escrita, que se prolonga durante bastantes siglos. Cuando despertamos de él, nos hallamos una Anatolia conformada por un mosaico de pueblos y culturas diferentes. Al oeste, en las costas del mar Egeo, se encuentran asentamientos jonios y eolios, poblados por colonos procedentes de sus respectivas regiones nucleares griegas del Ática y Tesalia, ya desde una época tan temprana como es a finales del I milenio; la meseta central es el territorio de los frigios, que fijan su capital en la ciudad de Gordión, mientras que en el sur y sureste florecen numerosos reinos luwitas, herederos materiales de los antiguos hititas, manteniéndose en frágil equilibrio con el otro gran poder regional de la época, como suponen los distintos reinos arameos, entre los que sobresalen las ciudades de Hama y de Alepo. Por el este asistimos al nacimiento de un nuevo y efímero reino alrededor del lago Van, el reino de Urartu, de tradición indoeuropea, cuyos reyes se proclamaban " rey del país de los frutos ", por el sistema de regadíos que poseían y " rey de los carros ", por su poderosa caballería militar.

Todos estos pueblos o ciudades-estado tuvieron que convivir con la potencia hegemónica de la zona durante los siglos IX y VIII a.C., los asirios, que alcanzaron su máximo poder con Sargón II (722 - 705).

Es durante su reinado cuando aparecen citados por primera vez los cimerios y escitas, los primeros eran un pueblo del sur de Rusia, y los segundos un conglomerado de tribus procedentes de las estepas que, presionados por los masagetas del Asia Central, les obligaron a desplazarse hacia el oeste, hasta que ambos pueblos, portadores ya de armas de hierro, y en distintos momentos, atraviesan la cordillera del Cáucaso e irrumpen en la escena política del Asia Menor. De esta manera, un grupo de cimerios se asienta en el lago Van, para luego dirigirse en sus correrías hacia el oeste, penetrando violentamente en Anatolia central y destruyendo el reino frigio del rey Midas, que se suicida en su capital Gordión en el año 696 a.C.

El vacío de poder dejado en la región por la caída de Frigia es ocupado, desde la mitad del siglo VII a.C. por un nuevo reino, los lidios, con su capital en Sardes, cuyos reyes, pertenecientes según Herodoto a la dinastía de los Mermnada extenderían paulatinamente su poder hasta el río Halis.



Paralelamente por el este asistimos al debilitamiento del poder asirio y al auge de los medos, con la capital en Ecbatana que, junto a los babilonios, toman la ciudad de Nínive en el 612 a.C. destruyendo definitivamente el imperio asirio.

Desde entonces, y hasta su unión con los persas de la dinastía Aqueménida, que se produce durante el reinado de Ciro II el Grande (579 - 530), el territorio asirio pasa a ser controlado por los medos.

Por su parte, los babilonios se apoderan de toda Mesopotamia y su rey Nabopolasar (658 - 605) funda el imperio Neobabilónico, que se mantiene como reino hasta la toma por Ciro el Grande de la ciudad de Babilonia en el año 539 a.C.

Se puede concluir que, con la llegada de Ciro al trono persa y la victoria de éste sobre Creso, el último rey lidio, después del empate bélico momentáneo que para ambos reyes supuso la batalla de Pteria y la posterior toma de la capital Sardes, termina un época en el Próximo Oriente y comienza otra completamente nueva y diferente, el Imperio Persa.

Si todo lo anterior supone un intento por relatar, en sus aspectos más generales, los sucesos históricos acaecidos en Asia Menor entre la desaparición del imperio hitita y el surgimiento del persa, el contexto histórico inmediato se explica y entiende dentro del choque bélico entre lidios y medos, fruto de sus respectivas políticas territoriales expansivas en direcciones opuestas, teniendo el río Halis como frontera común entre ellos.

Esta frontera no es nueva, ya que el núcleo originario del Antiguo Reino hitita (1.680 - 1.500) se circunscribía al arco interior del recorrido del Halis, que lo separaba del reino de Mitanni por el este, del antiguo reino hurrita de Kizzuwadna por el sur y del no muy bien conocido territorio, llamado Arzawa, por el oeste.

Esta afirmación del río Halis (moderno Kizilirmak) como frontera entre lidios y medos se fundamenta tanto

en los textos de escritores clásicos, como en la interpretación de los caminos y vías de comunicación que recorrían la zona en época persa y que la recorren todavía en la actualidad. Respecto a los textos, el protagonismo lo tiene Herodoto, ya que lo menciona hasta en cinco ocasiones, cuatro en relación con el rey Creso y otra más cuando nos describe el Camino Real Persa.

- Historia I, 6 : " Creso era de origen lidio, hijo de Aliates y soberano de los pueblos al oeste del río Halis, que corre desde el mediodía por entre sirios y paflagonios y desemboca hacia el norte, en el llamado Ponto Euxino ".

- Historia I, 28 : " Andando el tiempo, y cuando casi todos los pueblos que habitan a este lado del río Halis habían sido sometidos, pues a excepción de cilicios y licios, Creso había sometido a su poder a todos los demás ".

- Historia I, 72, 2-3 : " Pues la frontera entre el imperio medo y lidio eras el río Halis, que nace.....



Antiguo reino hitita

.... De este modo, el río Halis divide la casi totalidad de Asia Menor, desde el mar que hay frente a Chipre, hasta el Ponto Euxino ".

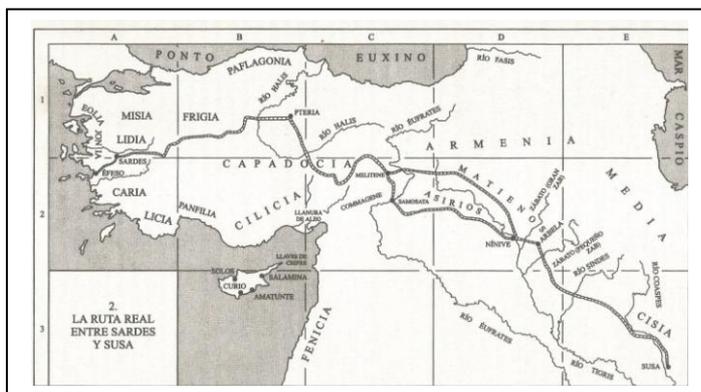
- Historia I, 75, 3 : " Y cuando llegó al río Halis, Creso, en mi opinión, hizo pasar el ejército por los puentes allí existentes, si bien, según la versión más difundida entre los griegos, fue Tales de Mileto quien le facilitó el paso "

- Historia V, 52, 2 : " Inmediatamente después de Frigia se halla el río Halis, a orillas del cual se alzan unas puertas que son totalmente imprescindibles franquear para poder cruzar el río; así mismo, en dicho lugar, se halla apostada una poderosa guarnición ".

Las dos últimas citas nos informan de dos cosas, la primera es de la existencia de un puente sobre el Halis, necesario para cruzarlo cuando se transita por un camino importante, ya que aunque en verano el río es fácilmente vadeable, en invierno no lo es tanto; la segunda es la referencia al cuerpo de guardia que nos revela la importancia del río como línea divisoria de Asia Menor. Posteriormente Ciro creó una serie de fortalezas con guarniciones a lo largo de su curso superior, quedando su parte este bajo dependencia directa del ejército del Gran Rey, mientras que al oeste quedaba bajo el control del sátrapa de la provincia.

También refuerza esta interpretación del carácter fronterizo del Halis lo que cuenta Herodoto respecto al hecho de que, cada vez que el río fue cruzado por poderosos ejércitos griegos o persas, sucedió después una cruel derrota para los mismos, como le ocurrió a Creso en la batalla de Pteria (547 a.C.) y después a Jerjes, cuando sufrió las derrotas de Salamina (480 a.C.) y Platea (479 a.C.), durante la Segunda Guerra Médica.

Aunque todas estas citas aportadas por el historiador avalen al Halis como frontera, hay que tomar el asunto con algunas reservas pues, por la descripción que hace Herodoto del curso del río y de las dos ramas del Camino Real persa a su paso por Anatolia, se constata un cierto desconocimiento por parte del historiador griego de la geografía de la misma, más allá del área de influencia griega.



Camino Real Persa

Se conoce como Camino Real la ruta que unía Sardes con la antigua capital elamita, en Susa. Tenía una longitud de 2.500 Km. A lo largo de todo su recorrido había postas reales y magníficas posadas, discurriendo siempre por regiones habitadas y seguras. Herodoto en su Historia V, 53 nos dice que desde Sardes hasta el Palacio Real, que recibe el nombre de Palacio Memnón, hay trece mil quinientos estadios, puesto que su longitud en la unidad persa era de cuatrocientas

cincuenta parasangas. Pues bien, según él, si cada día se recorren ciento cincuenta estadios, en el viaje se emplearían exactamente noventa días ". Esta distancia recorrida por día corresponde a 26,6 Km, y se entiende que sería la media diaria para un ejército en marcha, con toda su impedimenta y armas. El estudio de la rama norte de este Camino Real puede servir de argumento para justificar mi elección personal del lugar donde se pudo desarrollar la batalla, en la zona donde se asienta la moderna localidad de Delice.

La ruta norte discurría hacia el este desde Sardes, atravesando el río Halis, hasta Pteria (Bogazköy), la antigua capital hitita, pasando por Gordión y Ancyra (Ankara). En este tramo se han encontrado

restos arqueológicos, como son los túmulos funerarios frigios o escultóricos como pueden ser los relieves esculpidos sobre rocas en sitios relevantes del Camino

Todo apunta a que, para cruzar el Halis, el Camino lo haría por Elmadag, ciudad cerca de la cual se ha localizado una cañada, próxima al río, que se ha relacionado con las "puertas" mencionadas por Herodoto en su libro V, 52, 2 para después bajar unos kilómetros hacia el sur, hasta llegar a Kirikkale, y desde aquí, tomando dirección este dirigirse hasta Pteria, las actuales ruinas de Kerkenes Dag, una ciudad fundada a mediados del siglo VII y que cayó sobre el 590 a.C en poder de los medos, al comenzar el conflicto con los lidios, convirtiéndose después en un bastión o plaza fuerte al este del Halis. Existe también otro lugar, aguas arriba de Kirikkale por donde hoy se puede pasar el río, a través del puente Cesnigir, construido en el siglo XIII, por donde la tradición dice que pasó el gran Tamerlán en el año 1.402, durante su campaña contra el poder otomano, que finalizaría con la derrota del sultan Bayaceto en la batalla de Angora (Ankara) en julio de ese mismo año.



Puente Cesnigir sobre el río Kizilirmak

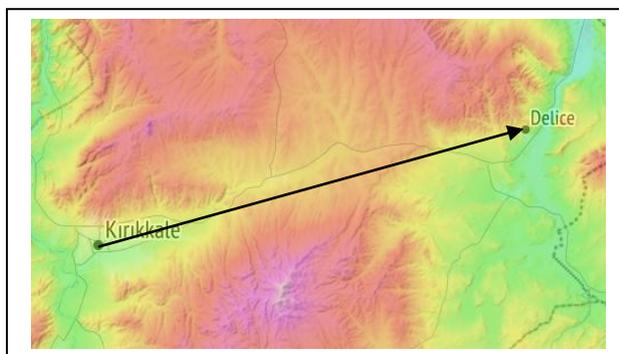
Hoy en día, gran parte de este tramo norte es seguido por la moderna carretera E - 88, la

cual nos lleva desde Ankara, en el oeste, hasta Refahiye, en la provincia de Erzican, por el este; pasando antes por las ciudades de Kirikkale, Yozgat y Sivas. Este camino constituye una parte importante de la antigua ruta comercial prepersa, que por vía terrestre unía Urartu con el mar Egeo, a través de Altintepe, Bogazköy y Gordión.

Hay otro lugar aguas arriba, más alejado de Kirikkale, por donde históricamente se ha vadeado el Halis. Se localiza cerca de la moderna ciudad de Kahisery, la hitita Mazaca y romana Cesaréa, mencionado por Herodoto como el punto de paso de las tropas de Jerjes, cuando se dirigía a Sardes, durante los preparativos de la invasión de Grecia, en la II Guerra Médica.

- Herodoto, VII, 26, 3 : " *Tras haber franqueado el río Halis, los expedicionarios penetraron en Frigia y avanzaron por dicha región llegando a Celenas, en donde manan las fuentes del río Meandro* ".

Esta cita nos informa que Jerjes tuvo que pasar dos veces el Halis, una primera por Kahisery y otra por Kirikkale, siguiendo la antigua ruta hitita.



Posible camino seguido por Aliates

Como conclusión se puede decir que, de estas dos posibles zonas por donde se podía pasar en la Antigüedad el río Hales, la que lo hace por Kirikkale es la que cuenta con más posibilidades de ser la ruta mencionada por Herodoto como Camino Real Persa y también la que mejor se adapta al relato histórico, tanto para ser la vía seguida por Aliates hasta la batalla del eclipse como, con toda seguridad, la tomada por Cresos hasta su choque armado con Ciro el Grande en la batalla de Pteria.

El contexto político inmediato de la batalla está protagonizado por el rey medo Ciaxares (653 - 585) y el lidio Aliates (617 - 560).

Siguiendo en todo momento a Herodoto nos dice que a la muerte de Fraortes le sucedió su hijo Ciaxares, nieto de Deyoces. Fue rey de los medos entre el 625 y 585 a.C. Nos informa de que fue más valiente que sus predecesores, así como el primero en dividir en cuerpos militares regulares a los asiáticos y el primero en determinar que cada contingente (lanceros, arqueros y jinetes) se alinearan en formación independiente, pues con anterioridad a él todos los hacían en bloque, con un completo desorden. Fue él quien luchó contra los lidios en aquella ocasión en que, durante el combate, el día se convirtió en noche y quien unió a sus dominios toda Asia al este del Halis. Marchó contra Nínive para vengar a su padre, pero cuando había vencido a los asirios en una batalla campal y estaba sitiando Nínive, sufrió el ataque de un gran ejército de escitas, acaudillados por Madies, hijo de Prototies. Estos escitas habían irrumpido en Asia tras expulsar a los cimerios de Europa, y persiguiéndolos en su huida, habían llegado a territorio medo. Los medos fueron derrotados por los escitas en una batalla y se adueñaron de toda Asia durante un tiempo de veintiocho años, asolando con su brutalidad las posesiones de todo el mundo y exigiendo tributo a cada pueblo. Sin embargo Ciaxares y los medos, después de haberlos agasajado y embriagado en una recepción, dieron muerte a la mayor parte de ellos y así los medos recobraron el poder e imperaron sobre los mismo pueblos que antes, después de someter a los asirios, a excepción del territorio de Babilonia. Tras estos acontecimientos murió Ciaxares, tras un reinado de cuarenta años, incluidos los de dominio escita. Le sucedió entonces su hijo Astiages.

Respecto a Aliates, nos cuenta que llegó al trono después que muriera su padre Sadiates, que reinó doce años. Aliates hizo la guerra a Ciaxares, descendiente de Deyoces, y a los medos. Expulsó a los cimerios de Asia y tomó Esmirna, que había sido fundada por colonos procedentes de Colofón, y realizó una expedición contra Clazómenas, fracasando en la misma. Prosiguió contra los milesios la guerra que había heredado de su padre, lanzando contra Mileto los ejércitos cuando la cosecha estaba madura, pero dejando intactas las casas y a las personas para que éstas siguieran cultivando las tierras. Actuaba así porque los milesios eran los dueños del mar, de modo que el ejército no podía realizar el asedio de la ciudad. La guerra duró once años, de los que los seis primeros corresponden a Sadiates y los cinco restantes a Aliates. En el onceavo año de guerra, el fuego que quemaba la mies, avivado por el viento, prendió en el templo de Atenea (venerada bajo la advocación de Asesia), quedando reducido a cenizas. Como consecuencia de esto, Aliates cayó enfermo, por lo que envió delegados al oráculo de Delfos para preguntar por su enfermedad. La respuesta fue que concertara una tregua con los milesios y reconstruyera el templo, cosa que hizo, pues construyó dos templos en honor de Atenea y se repuso de la enfermedad, terminando de este modo la guerra. Transcurrido mucho tiempo de esto, murió después de un reinado de cincuenta y siete años. A su muerte heredó el trono su hijo Creso que tenía treinta y cinco años de edad.

Para finalizar, voy a reproducir textualmente el " casus belli " de la guerra y su final, sin citar los párrafos de en medio que recogen la batalla, ya transcritos anteriormente.

- Herodoto. I, 73, 3,4,5,6 : " *Un contingente de escitas nómadas , con ocasión de una revuelta, había emigrado a territorio medo; por aquel entonces sobre los medos reinaba Ciaxares, hijo de Fraortes y nieto de Deyoces, que, al principio, trató con cortesía a esos escitas, como suplicantes que eran; y como los tenía en gran consideración, les confió a unos jóvenes para que aprendieran su lengua y la técnica del manejo del arco. Pero, al cabo de un tiempo, ocurrió que los escitas, que acostumbraban a salir con asiduidad de caza y que siempre regresaban con alguna pieza, cierto día, no cobraron ninguna. Y, al volver con las manos vacías, Ciaxares - que, como evidenció, era colérico en extremo - los trató ofensivamente y con suma dureza. Entonces ellos, al recibir este trato de parte*

de Ciaxares, como lo recibían sin merecerlo, decidieron despedazar a uno de los muchachos que se educaban en su compañía, prepararlo como solían preparar la caza, ofrecérselo a Ciaxares como si de una pieza se tratara y, una vez que se lo hubieron ofrecido, ganar sin demora la corte de Aliates, hijo de Sadiates, en Sardes. Y así sucedió, pues Ciaxares y los invitados que tenía a su mesa comieron de aquella carne y los escitas, una vez conseguido su propósito, se acogieron a la protección de Aliates ".

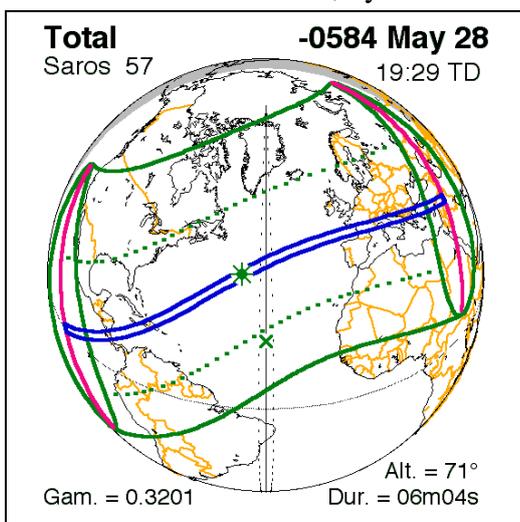
Después vienen los párrafos de la batalla.....

- Herodoto I, 74, 3,4,5 : " Entonces lidios y medos , al ver que la noche tomaba el lugar del día, pusieron fin a la batalla y tanto unos como otros se apresuraron, con mayor diligencia de la habitual, a concertar la paz. Sus mediadores fueron: Siénesis de Cilicia y Labineto de Babilonia. Ellos fueron los que aceleraron la realización de su acuerdo y, así mismo, quienes concertaron un compromiso matrimonial, pues decidieron que Aliates entregara su hija Arienis a Astiages, hijo de Ciaxares, ya que, sin sólidos lazos de parentesco, los tratados no suelen mantenerse en vigor. Por cierto, que estos pueblos ajustan sus tratados igual que los griegos; pero además se hacen un corte superficial en los brazos y se succionan mutuamente la sangre ".

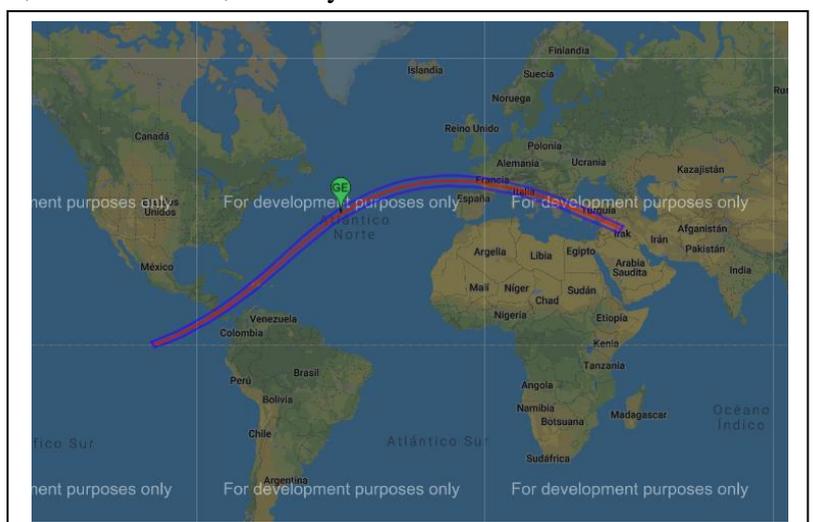
El eclipse solar del 28 de mayo del 585 A.C.

Lo primero que se va a presentar es una breve descripción del mismo, con sus características generales, con objeto de tener una visión global del mismo, para después ver sus mapas ortográfico y general.

El eclipse empezó en un punto del Océano Pacífico de coordenadas geográficas $\phi = 0^{\circ},468$ de latitud norte y $\lambda = 103^{\circ},564$ de longitud oeste, es decir, casi sobre el Ecuador y un poco al oeste de la Islas Galápagos. En ese momento, las 12h, 45m y 2s TU, el Sol estaba saliendo por el horizonte noreste, con un acimut $A = 249^{\circ},6$. La duración de la fase de totalidad al comenzar sería de unos 3m, 4s. Prosiguió su camino atravesando Costa Rica y la isla de Santo Domingo. Cruzó todo el Océano Atlántico, entrando en el continente europeo por Francia. Fue desplazando su franja de totalidad por Italia, Grecia, Turquía, Siria y finalizó su recorrido en el noreste de Irak, cerca de su capital Bagdad, exactamente en un punto de coordenadas $\phi = 34^{\circ},32$ latitud norte y $\lambda = 42^{\circ},623$ longitud este, cuando eran las 15h, 59m, 44s TU. En ese momento el Sol se estaba poniendo sobre el horizonte noroeste con un acimut $A = 114^{\circ},9$ y una duración, en la totalidad, de 3m y 5s.



Mapa ortográfico



Mapa general del eclipse

Fue un eclipse total de magnitud $G = 1,0798$. El instante que correspondió a su máximo, cuando el eje del cono de sombra de la Luna pasa más cerca del centro de la Tierra, sucedió a las 14h, 22m 26s de TU y tuvo lugar sobre un lugar geográfico de latitud $\varphi = 38^{\circ},2$ y de longitud $\lambda = 45^{\circ}$ oeste. La altura del Sol en ese momento era de $71^{\circ},1$ y su acimut astronómico de $A = 338^{\circ},5$ (como siempre, el acimut lo tomo desde el sur del horizonte local en el sentido de las agujas del reloj). Su máxima duración sobre la línea de centralidad fue de 6m 4s, por lo tanto, bastante fue bastante prolongado.

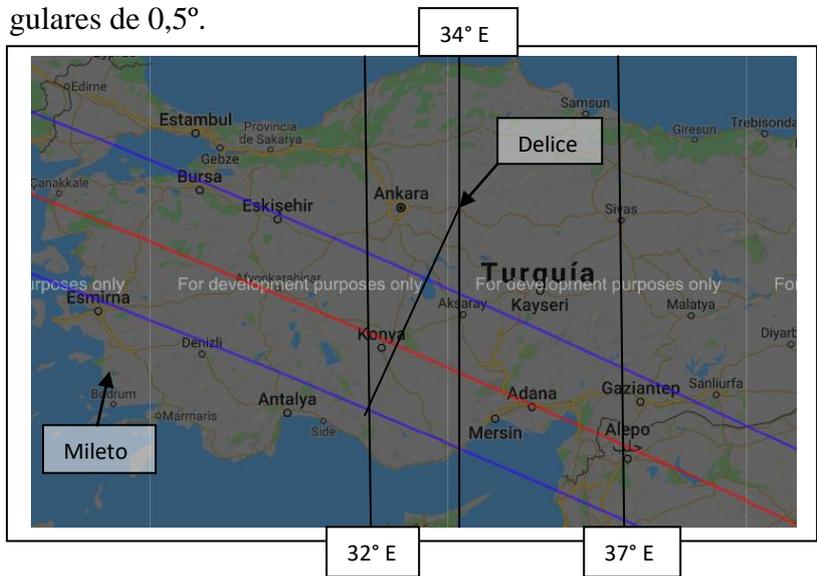
Elementos besselianos

Instante del eclipse máximo: 19:28:50 TDT = 14:22:26 UT		JD = 1507900,312				
Gamma = 0.3201	Efemerides = VSOP87/ELP2000-82					
Magnitud del eclipse = 1.0798	Lunación No. = - 31955					
Tipo de eclipse = Total	Serie de Saros = 57	$\Delta T = 18383,9$ s				
Radio lunar $k_1 = 0.272488$ (Penumbra)						
Radio lunar $k_2 = 0.272281$ (Umbra)						
Elementos besselianos para los polinomios:		Hora de referencia 19.000 TDT (=T ₀)				
n	x	y	d	l ₁	l ₂	μ
0	-0.3662690	0.2167890	20.3646507	0.5302200	-0.0158380	107.344139
1	0.5545704	0.1819399	0.0081660	-0.0000120	-0.0000119	15.001180
2	0.0000667	-0.0001464	-0.0000040	-0.0000128	-0.0000127	0.000000
3	-0.0000094	-0.0000032	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.000000
		tan f ₁ = 0.0045938		tan f ₂ = 0.0045709		

Para el tiempo t₁ en horas decimales cada uno de los elementos besselianos es evaluado así:
 $a = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 + a_3 \cdot t^3$
 donde a = x, y, d, l₁, l₂ y μ ; t = t₁ - T₀ (en horas decimales), y T₀ = 19 h TDT
 Circunstancias en el momento del eclipse máximo:
 Instante = 14:22:26 UT
 Latitud: 38.2° N Altura del Sol: 71.1° Ancho de la sombra = 271.5 km
 Longitud: 45.0° W Acimut del Sol: 158.5° (a partir del norte) Duración central = 06m 04s

Línea central de totalidad del eclipse.

Como anteriormente se indicó, solo se darán los resultados obtenidos para la línea de centralidad del eclipse y para los meridianos comprendidos entre $\lambda = 32^{\circ}$ y $\lambda = 37^{\circ}$ de longitud este, a intervalos regulares de 0,5°.



El intervalo de meridianos elegido es el que me permite trabajar en longitud sobre el espacio en el que hay total certeza que se pudo producir la batalla.

Si observamos la trayectoria seguida por la línea de centralidad del eclipse vemos que entró en Turquía por el Estrecho de los Dardanelos, barriendo de forma trasversal la península siguiendo una dirección noroeste - sureste, pasando por las ciuda-

des de Konya, Adana y cerca de Alepo en Siria.

La anchura de la franja de totalidad, perpendicular a la misma en cualquier punto de su recorrido, fue de unos 235 Km.

Siguiendo el mismo proceso que utilizamos para hallar la línea de centralidad en nuestro eclipse modelo del 12 agosto del 2026, pero tomando los elementos besselianos correspondientes al "eclipse de Tales" como datos a aplicar en las fórmulas matemáticas. realizados los cálculos oportunos obtuvimos los siguientes resultados para las coordenadas geográficas (λ , φ) de la línea central, a intervalos de $0,5^\circ$ en longitud, además de sus respectivos tiempos de paso por esos puntos.

Coordenadas geográficas		Tiempos	
Longitud $^\circ(\lambda)$	Latitud $^\circ(\varphi)$	T. Dinámico (TD)	T. Universal (TU)
32	38,1741801 ($38^\circ 10' 27,05''$)	21h 4m 36,5s	15h 58m 12,6s
32,5	38,00551782 ($38^\circ 0' 19,86''$)	21h 4m 44,8s	15h 58m 20,9s
33	37,8355713 ($37^\circ 50' 8,06''$)	21h 4m 52,7s	15h 58m 28,8s
33,5	37,66349607 ($37^\circ 39' 48,59''$)	21h 5m 0,4s	15h 58m 36,5s
34	37,4898852 ($37^\circ 29' 23,59''$)	21h 5m 7,7s	15h 58m 43,8s
34,5	37,30594727 ($37^\circ 18' 21,41''$)	21h 5m 16,7s	15h 58m 52,8s
35	37,1433992 ($37^\circ 8' 36,24''$)	21h 5m 20,1s	15h 58m 56,2s
35,5	36,96692515 ($36^\circ 58' 0,93''$)	21h 5m 26s	15h 59m 2,1s
36	36,7887115 ($36^\circ 47' 19,36''$)	21h 5m 31,6s	15h 59m 7,7s
36,5	36,60843789 ($36^\circ 36' 30,38''$)	21h 5m 37s	15h 59m 13,1s
37	36,4259919 ($36^\circ 25' 33,57''$)	21h 5m 42,2s	15h 59m 18,3s

Para saber el tiempo de paso correspondiente a la hora solar local hay que sumar al Tiempo Universal la longitud del lugar expresada en tiempo, teniendo siempre en cuenta que $15^\circ = 1h$. Por ejemplo, la hora solar de paso de la línea central de totalidad por el punto de coordenadas 37° de longitud este y $36^\circ,4259919$ de latitud norte, fue igual a :

$$\text{Hora solar} = \text{TU} + (37^\circ / 15) = 15 \text{ h } 59 \text{ m } 18,3 \text{ s} + 2,46666666 \text{ h} = 15 \text{ h } 59 \text{ m } 18,3 \text{ s} + 2 \text{ h } 28 \text{ m} = 18 \text{ h } 27 \text{ m } 18,3 \text{ s}$$

Límites norte y sur de la franja de totalidad para la longitud (λ) de la localidad de Delice

Fijándonos en el mapa anterior, donde se ve la franja de totalidad atravesando Turquía, observamos que Delice no está dentro de la misma, por lo que el eclipse que se vio allí fue parcial, aunque con un grado de oscurecimiento del Sol casi total.

El objetivo último que se persigue hallando sus límites, sobre todo su límite norte, es saber cuántos Km separaron a Delice, sobre su meridiano ($\lambda = 34^\circ$), de la franja de totalidad, es decir la distancia meridiana (s) del último punto donde el eclipse fue total, aunque su duración hubiera sido mínima. Estos Km nos sirven solo como una buena aproximación, ya que como el eclipse siguió una trayectoria transversal, la distancia a la frontera total - parcial sería un poco menor y perpendicular a la franja de centralidad, como se puede ver en el mapa .

Realizados los cálculos para hallar estos límites se obtuvieron los siguientes resultados, respecto a sus coordenadas geográficas y su tiempo de paso por esos puntos:

	Coordenadas geográficas (λ , φ)		Tiempo de paso (TU)
Límite norte	34° Este	38,65307444 ($38^\circ 39' 11,07''$) Norte	15h 57m 45,65s
Límite sur	34° Este	36,34719073 ($36^\circ 20' 49,89''$) Norte	15h 59m 38,23s

Teniendo en cuenta que las coordenadas geográficas del punto elegido como posible lugar de la batalla eran : longitud $\lambda = 34^\circ \text{ E}$ y latitud $\varphi = 40^\circ \text{ N}$, entonces la diferencia meridiana de latitud entre este punto y el correspondiente al límite norte de la franja es $\Delta \lambda = 40^\circ - 38,65307444 = 1^\circ,34692556 = 0,0235082$ radianes, que multiplicados por 6.371 Km, el radio ecuatorial de la Tierra, nos da la distancia (s) en Km que lo separaría de la totalidad, $s = 0,0235082 \text{ rad} \cdot 6371 \text{ Km} = 149,771288 \text{ Km}$. Si estos son los Km sobre la línea meridiana, los Km sobre la perpendicular a la franja de totalidad, según distancia dada por el Google Earth, serian unos 133 Km, es decir en el entorno medio de unos 140Km, distancia que nos ayudará a comprender mejor las circunstancias locales que pudieron rodear al eclipse durante la batalla. Como complemento se van a dar a continuación los resultados obtenidos sobre los distintos aspectos del eclipse para la línea de centralidad correspondiente a la una longitud $\lambda = 34^\circ \text{ E}$.

Duración	Anchura	Declinación	altura	Acimut	RatioS/L	Magnitud	Oscurecimiento
203,158 s	234,94Km	20°,38548	7°,85049	289°,718	1,064475	1	100%

La declinación y la altura son las que tenía el Sol y la ratio nos informa de la proporción que guardaban los diámetros aparentes de la Luna y el Sol

Circunstancias locales del eclipse en la localidad de Delice

En este punto se pretende describir, en la medida de lo posible, el escenario astronómico que acompañó al eclipse en el momento de la batalla. Cuando abordamos el mismo estudio en el modelo del eclipse del 12 agosto del 2026, ya enumeramos cuáles eran estas circunstancias.

En la imagen de al lado se puede ver la morfología del terreno que atraviesa la carretera que une la ciudad de Kirikkale con la localidad de Delice. El punto rojo nos indica la posible zona en la que se pudo producir el enfrentamiento armado.



Realizados los cálculos pertinentes los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Elemento a medir	Primer contacto	Eclipse máximo	Último contacto
Tiempo Universal	15 h 0 m 5,7 s	15 h 56 m 35,99 s	16 h 48 m 54,79 s
Tiempo local	17 h 16 m 5,7 s	18 h 12 m 36 s	19 h 4 m 54,8 s
Magnitud	0	0,962995471	0
Oscurecimiento	0	96,56 %	0
Ratio entre diámetros	-----	1,064863869	-----
Ángulo P	254°,622298	168°,977435	83°,1284875
Ángulo Z	201°,194676	118°,4029668	36°,490884
Ángulo paraláctico q	53°,4276226	50°,57446819	46°6376035
Altura del Sol	19°,5204663	9°,07317014	- 0°,13263064
Acimut del Sol	100°,643836	109°,0499441	117°,176044

La batalla

Antes de centrarnos en la batalla, intentando hacer una descripción de la misma, en base a las circunstancias locales que rodearon al eclipse y a los antecedentes previos que la condicionaron, como pudieron ser el contexto geopolítico de Asia Menor a comienzos del siglo VI a.C., las características propias de cada ejército enfrentado y los protagonistas regios que la comandaron; es necesario decir que, aunque Herodoto y Clemente de Alejandría citan a Ciaxares como rey de los medo y a Aliates el de los lidios, otros autores clásicos como Cicerón y Eusebio de Cesarea se refieren al mismo Aliates y a Astiages, hijo de Ciaxares, como los reyes presentes en la batalla.

En lo que hay unanimidad es que el tratado de paz, firmado mediante el compromiso matrimonial entre Arienes, hija de Aliates, y Astiages, se hizo efectivo cuando Ciaxares ya había muerto, por lo que su muerte debió de ocurrir poco después de la batalla del eclipse.

La batalla fue una más entre las muchas que se libraron en la guerra, con resultado dispar para ambos bandos. Lo que se estaba disputando en ella era el control de Asia Menor. Las fuerzas se encontraban equilibradas, Ciaxares " el Grande " controlaba la zona oriental de Anatolia, donde el poder asirio ya no existía desde la toma de las ciudades de Assur, en el 614, y la de Nínive en el 612 a.C., rematado con la derrota final de su último rey Assuruballit II en el 609 a.C.

Más al norte, la toma de Tushpa, la capital del reino de Urartu en el 590 a.C., unida a que por el sur su alianza matrimonial con el reino de Babilonia, mediante el matrimonio de su nieta Amytis con Nabucodonosor II, el hijo de Nabopolasar, le habían dejado las manos libres para actuar por el oeste directamente contra los lidios, en particular en la "zona de nadie " que representaba la región situada al oriente del río Halis, disputada también por el lidio Aliates.

Este rey había consolidado su poder, pues el reino de Frigia ya no existía, había logrado expulsar a los cimerios de su territorio, había firmado la paz con la ciudad de Mileto después de once años de guerra, y ganado para su causa al resto de ciudades griegas de la costa del mar Egeo, teniendo de esta manera sus espaldas bien cubiertas en la retaguardia de su reino. Como además el reino de Cilicia (Khilakku) no interfería, pues su rey Siénesis había actuado como mediador en el tratado de paz, la partida bélicamente hablando se jugaría en el arco interior del río Halis, en el que la ciudad de Pteria (hoy ruinas de Kerkenes Dag) jugaba un papel esencial. Esta ciudad se había fundado a finales del siglo VII a.C., pero no se tiene certeza respecto al origen de su población ya que por un lado podía tener origen medo, pero por otro podía ser gente procedente de Frigia que emigró allí después de la destrucción de su reino a manos de los lidios sobre el 620 a.C.

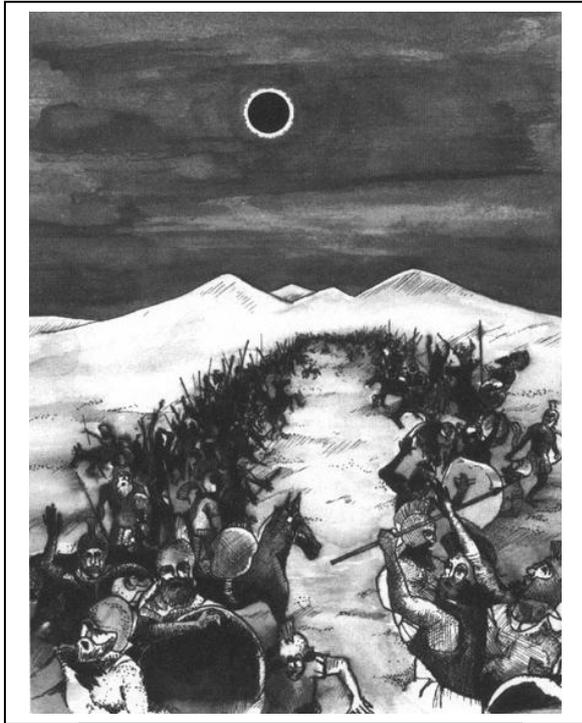
Una prueba de que su población era foránea nos la aporta Herodoto (I, 76,2) cuando nos cuenta del trato diferente que dio Cresos a los pterios de la ciudad respecto a los sirios de los alrededores, cuando tomó Pteria (547 A.C.) al inicio de su enfrentamiento con Ciro el Grande.

Pteria se encuentra a 93 Km, en línea recta, de Delice, equivalente a unos tres días de marcha para un ejército con su aparejo militar. Así mismo, Delice dista unos 50 Km de Kirikkale, el lugar por donde se pudo vadear el río Halis, a otras dos jornadas para otro ejército que hubiera pasado el río a las que habría que añadir una más, por lo menos, para poder poner los pontones que permitieran atravesar su corriente , ya que en esa época, según nos cuenta nuestro historiador en (I, 75, 4), no existían puentes cuando lo atravesó Cresos en su marcha hacia Pteria y, según la tradición griega, fue Tales quien dirigió los trabajos del desvío del cauce del río que permitiera al ejército atravesarlo.

Todo este amplio preámbulo me induce a pensar que Aliates empezó su campaña anual en el mes de mayo, que atravesó el Halis por las actuales localidades de Elmedag o Kirikkale para después encaminar sus tropas valle arriba del pequeño río o torrente subsidiario del anterior, rodeado de suaves

colinas hasta su cabecera. Llegado a ella, y una vez pasada su parte más abrupta, siguió por el camino antiguo, atravesando un relieve más suave y llanero hasta su encuentro bélico con los medos de Ciaxares en los alrededores de Delice.

Por su parte Ciaxares, que se encontraría en Pteria, que era su bastión defensivo adelantado en la región, una vez que fue avisado por sus observadores dispuestos en la " frontera " del Halis, reunió sus tropas y fue al encuentro de los lidios. La llanura de Delice fue el escenario de la batalla y del grandioso espectáculo del eclipse.



La batalla del eclipse de Tales

Las hostilidades se debieron iniciar por la mañana, con ambos ejércitos enfrentados, a un lado los lidios, un pueblo del que Herodoto nos dice que eran aguerridos y valerosos, que perfectamente alineados combatían a caballo provistos de largas picas; al otro lado los medos, que después de la reforma llevada a cabo por Ciaxares, mediante la cual dividió al ejército en varios cuerpos, de lanceros, arqueros y caballería, siguiendo el modelo de la máquina militar que había sido el ejército asirio, en el que cada cuerpo formaba independientemente, a diferencia de antes que lo hacían desordenadamente y todos juntos,

La batalla prosiguió con muchas bajas por ambos bandos y sin ventaja para ninguno de ellos, hasta que ocurrió el eclipse.

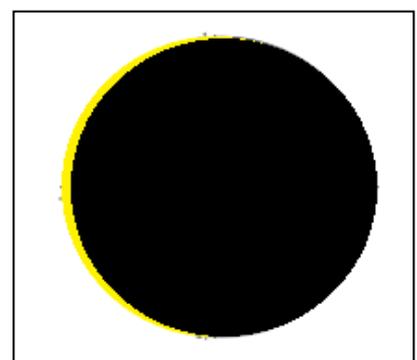
Este inusual fenómeno astronómico comenzó por la tarde, ya que el primer contacto entre la Luna y el Sol tuvo lugar a las 17h 16m 5s, localizándose este contacto sobre la superficie solar como a las cinco horas

de un reloj mecánico, encontrándose el Sol en ese momento $19^{\circ},5$ por encima del horizonte oeste. Transcurrida una hora, a las 18h 12m 36s, con el Sol a $9^{\circ},07$ sobre el horizonte y con su superficie casi totalmente tapada por la sombra de la Luna, con un 96,56% de oscurecimiento tuvo lugar el eclipse máximo. Es en ese momento cuando debió ocurrir lo que narra Herodoto, que el día se hizo noche, siendo posible incluso que se vislumbrara alguna estrella de primera magnitud (el Sol se encontraba en esos días en la constelación de Géminis) o planeta dispuesto sobre la Eclíptica. Esta visión debió de atemorizar mucho a las tropas que dejaron de combatir y trataron, con más diligencia que de costumbre, sobre la paz. Los respectivos ejércitos retrocederían en sus posiciones hacia su retaguardia mientras que el eclipse empezaría a perder intensidad y, poco a poco, volvía el día.

El último contacto se produjo a las 19h 4m 54s, con la Luna saliendo de la superficie solar por un punto como a las nueve y media de reloj. Este contacto, aunque hubiera podido verse, no era visible ya que el centro del Sol se hallaba $0^{\circ},1326$ por debajo del horizonte.

La duración total de todas las fases del eclipse fue de 1h 48m 49s, transcurriendo todo él en la zona noroeste del horizonte local.

La expresión $\cos A = - \sin \delta / \cos \varphi$ (49) nos da el orto y ocaso del Sol, sin tener en cuenta la re-



Oscurecimiento del Sol

fracción, su paralaje horizontal y su radio angular aparente. Sustituyendo los valores para una declinación del eje del cono de sombra en el momento del máximo eclipse, $d = \delta = 20^{\circ},381374$ y para la latitud $\varphi = 40^{\circ}$, obtenemos los siguientes valores para el acimut : $A_1 = 117^{\circ},041176$, que correspondería al ocaso, y $A_2 = 242^{\circ},958823$ para el orto. El valor de A_1 es casi igual al acimut del Sol durante el último contacto, es decir, el ocaso y el último contacto se produjeron con el mismo acimut sobre el horizonte.

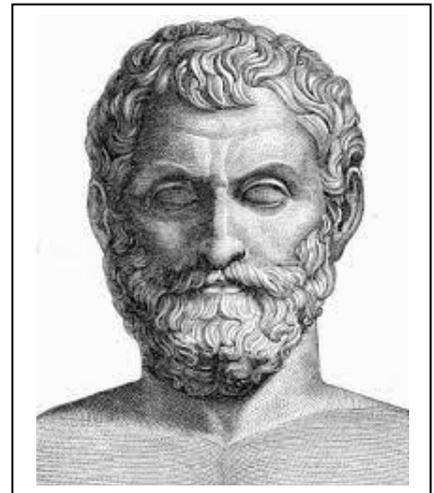
La predicción de Tales de Mileto

Existe unanimidad entre los estudiosos que la notoriedad que adquirió este eclipse, tanto entre los contemporáneos al mismo como para la posteridad, se debe no tanto al suceso en sí mismo y su posterior repercusión sobre la guerra entre medos y persas, como al asombro que provocó entre los griegos la predicción del eclipse por parte de Tales, no solo del año en que ocurriría sino también, según consta en algunos textos, el día en el que tendría lugar.

Tales de Mileto (624 - 543 a.C. , según Diógenes Laercio) fue uno de los Siete Sabios griegos de la Antigüedad, un sabio en muchas disciplinas, como la filosofía natural, matemáticas, física, astronomía, además de los cargos que a lo largo de su vida desempeñó en la función pública de su ciudad. Sus padres, Examio y Cleóbula, eran de origen fenicio y pertenecían a la nobleza de Mileto, importante ciudad jónica que mantenía amplias relaciones comerciales con todos los estados y ciudades del Mediterráneo oriental.

Fue fundador de la Escuela de Mileto, donde se formaron Anaximandro y Anaxímenes, ambos eminentes filósofos presocráticos y también consejero político de jonios y lidios, según Herodoto.

Parte de sus conocimientos los debió de adquirir en sus viajes, principalmente a Egipto, en donde estuvo en contacto con los sacerdotes de Menfis, que le transmitieron su saber astronómico y matemático. Aunque no dejó ninguna obra escrita su legado fue muy amplio, tanto en el campo del pensamiento como en el de la ciencia.



Tales de Mileto

Era un firme defensor de la explicación racional de los fenómenos naturales, siendo para Aristóteles el primer filósofo natural. Para él, el agua es el primer principio, creador de todas las cosas, siendo además el medio sobre el que flota la tierra a modo de disco plano recubierto por la bóveda de estrellas.

Sus principales aportaciones en matemáticas fueron:

- Algunos contenidos de geometría presentes en la obra " Elementos " de Euclides.
- Su famoso Teorema de Tales, " los segmentos determinados por dos rectas concurrentes cortadas por paralelas son proporcionales. La aplicación del mismo le permitió calcular la altura de la pirámide de Keops.
- Todo círculo es cortado en dos partes iguales por un diámetro
- Los ángulos de la base de un triángulo isósceles son iguales.
- Los ángulos opuestos por el vértice de dos rectas que se cortan son iguales.
- Todo ángulo inscrito en una semicircunferencia es recto.

En astronomía destaca por su labor acerca de :

- La diferente duración de los solsticios y equinoccios.

- Establecer la duración del año en 365 días.
- Ver una mayor utilidad de la " Osa Menor ", respecto a la " Osa Mayor ", para la navegación nocturna.
- Las proporciones relativas del Sol y la Luna.
- La predicción de los eclipses de sol

Es probable que el conocimiento que tuvo Tales de los registros de eclipses solares, llevados a cabo por los sacerdotes mesopotámicos desde épocas muy antiguas, le sirvieran como datos empíricos para realizar su famosa predicción.

La realidad es que ponerse a hablar hoy en día sobre ella es bastante arriesgado, ya que es una cuestión muy controvertida entre los numerosos estudiosos que la han abordado. Son tantos los factores a analizar, unos más especializados y científicos como pueden ser las trayectorias y recorridos de los diferentes eclipses de sol que pudieron ser vistos desde la región del Asia Menor, donde se asentaba la ciudad de Mileto, todos disponibles en la página de NASA " Five millennium canon of solar eclipses : - 1.999 to + 3.000 ", y otros más clásicos y eruditos basados en las citas y comentarios dejados por los escritores de la Antigüedad, más o menos creíbles y, en ocasiones dispares entre sí. Así mismo es necesario situarse en el contexto científico de la época, y particularmente en el conocimiento astronómico disponible en los siglos VII y VI a.C. El análisis de todos ellos nos plantean numerosas preguntas e interrogantes al respecto de si fue posible o no que Tales revelara a sus contemporáneos semejante predicción.

Respecto al contexto hay que señalar varias cosas, como son :

- La idea que Tales tenía de la Tierra, un disco plano flotando sobre una masa de agua con la bóveda celeste por encima, no es lo más adecuado para explicar la naturaleza de los eclipses y menos para adentrarse en los posibles ciclos temporales para su repetición.
- Es cierto que debía conocer los movimientos en el cielo del Sol, la Luna y, probablemente de las "estrellas errantes" o planetas visibles, puesto que las fuentes nos hablan de que fundó una escuela náutica en la ciudad, además de escribir sobre los solsticios y equinoccios y de medir la duración del año trópico. Se cuenta que Tales observaba, durante la fase de Luna Nueva, el Sol reflejado sobre una superficie de agua con el objetivo de poder localizar cuanto eclipse se pudiera dar, aunque fuera de baja magnitud.
- El acervo astronómico con el que contaba eran los registros sobre tablillas de arcilla, en escritura cuneiforme, llevados a cabo por los sacerdotes babilónicos y que pudieron llegar hasta él en esa época tan convulsa en Oriente Próximo. Se tiene constancia de tablillas que recogen eclipses de sol y de luna, como la tablilla LBAT 1.420, y de registros de las posiciones lunares durante el reinado de Nabucodonosor II, en la tablilla VAT 4.956.

La relación que parece existir entre el ciclo de saros y la palabra mesopotámica "sar" (cantidad de 3.600, o lo que es lo mismo 60 x 60) parece más que evidente y apunta en la dirección del conocimiento de los saros para ser usados en la predicción de los eclipses de luna y, posiblemente en los de sol, ya desde una fecha tan temprana como el siglo VII a.C. En la tablilla de al lado se registra una lista de los eclipses ocurridos entre los años 518 y 465 a.C. en la que se menciona además la muerte del rey Jerjes.



En cuanto al relato dejado por los autores clásicos sobre la predicción hay que hacer algunas consideraciones al respecto:

- La posible predicción debió de impresionar mucho a sus contemporáneos y a las generaciones siguientes. Esta impresión no la pudo producir solo el hecho de que Tales dijera que en el futuro se produciría un eclipse de sol, algo obvio y evidente, sino una declaración más espectacular y arriesgada como podría ser la predicción del año, e incluso de la fecha del mismo. Esta predicción fue luego públicamente reconocida durante el arcontado de Damasías (582 / 581 a.C.).

- Plinio el Viejo, Diógenes Laercio y Herodoto aportan citas textuales, e incluso el primero de ellos se atreve a fecharlo en el año 170 desde la fundación de Roma (583 a.C.), Aristófanes y Platón estaban impresionados por este logro; por el contrario, Aristóteles no creía que Tales hubiera predicho el eclipse.

Analizando este hecho hoy en día, es necesario decir que la investigación moderna oscila entre autores que creen que solo fue un mito, como afirmaban el helenista Thomas - Henri Martin, en el siglo XIX y Otto Neugebauer en el XX, y otros que basándose en los eclipses que pudieron ser visibles en Asia Menor antes y durante la vida de Tales, distinguiendo en ellos las distintas magnitudes que tuvieron y teniendo en cuenta las características locales que tuvieron para la ciudad de Mileto, pretenden ver la existencia de diferentes agrupamientos de eclipses que responderían estadísticamente a la existencia de determinados ciclos.

Así Dirk Couprrie defiende que Tales habría llegado a la conclusión de que los eclipses ocurren en grupos que abarcarían treinta y cinco lunaciones, separados por dieciocho y diecisiete lunaciones entre cada uno de ellos, y que a su vez estos grupos estarían separados entre sí por grandes intervalos de tiempo.

Willy Hartner, en 1969, examinó quince posibles ciclos entre los que se encontrarían el saros y el exeligmo, entre los más importantes que le pudieron servir para su predicción.

Dimitri Panchenko, también señala el exeligmo como ciclo utilizado pero no para predecir el eclipse correspondiente a la batalla el 28 de mayo 585 a.C., sino que la predicción habría sido hecha para el que ocurrió el 21 de septiembre del 582 a.C.

Patricia O' Grady en el 2002, analizando los eclipses solares ocurridos en Nínive en vez de en Mileto, observó que algunas veces se dan veintitrés meses y medio después de un eclipse de luna, aunque la evidencia científica no fuera tan rotunda como sería deseable, ya que desde esta ciudad, solo cinco de los veintidós eclipses de luna ocurrieron separados por ese número de meses.

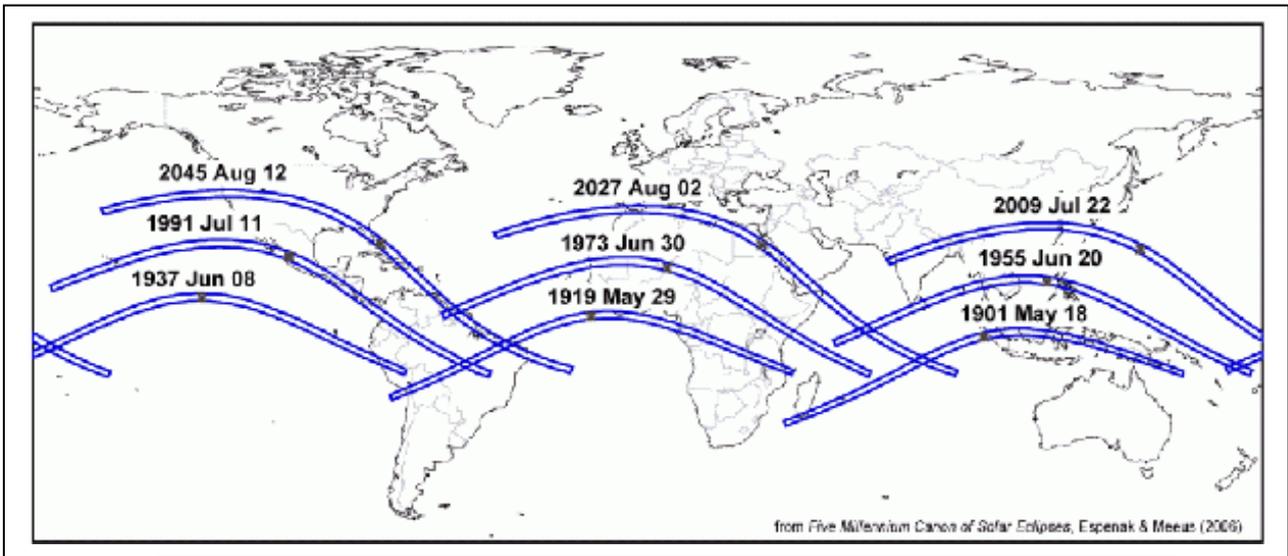
Finalmente, y para añadir más confusión al asunto, Thomas Worthem se plantea si la batalla no se libraría durante un eclipse de luna que hubiera ocurrido al comienzo de la noche, dejando a esta batalla nocturna momentáneamente sin la luz de la luna llena. Esta hipótesis se apoyaría en lo que Tucídides nos cuenta en su Guerra del Peloponeso sobre la batalla nocturna de Epipolai (413 a.C.) entre siracusanos y atenienses.

La conclusión a la que se llega es que en la antigüedad era difícil que los eclipses solares se pudieran predecir haciendo uso de la existencia de distintos ciclos y que, de haber utilizado alguno de ellos, los más probables habrían sido el saros y el exeligmo.

De los dos, el más conocido y antiguo aplicable a la predicción, sobre todo de los eclipses de luna, es el saros, un periodo que dura 6.585,3213 días, correspondiente a 223 lunaciones, después de los cuales los eclipses de sol y de luna se repiten con ligeras variaciones, ya que estas lunaciones equivalen a 242 meses draconíticos y a 239 meses anomalísticos. Una lunación o mes sinódico (29,530588861 días) es el tiempo medio transcurrido entre dos sucesivas lunas llenas o nuevas, el mes draconítico

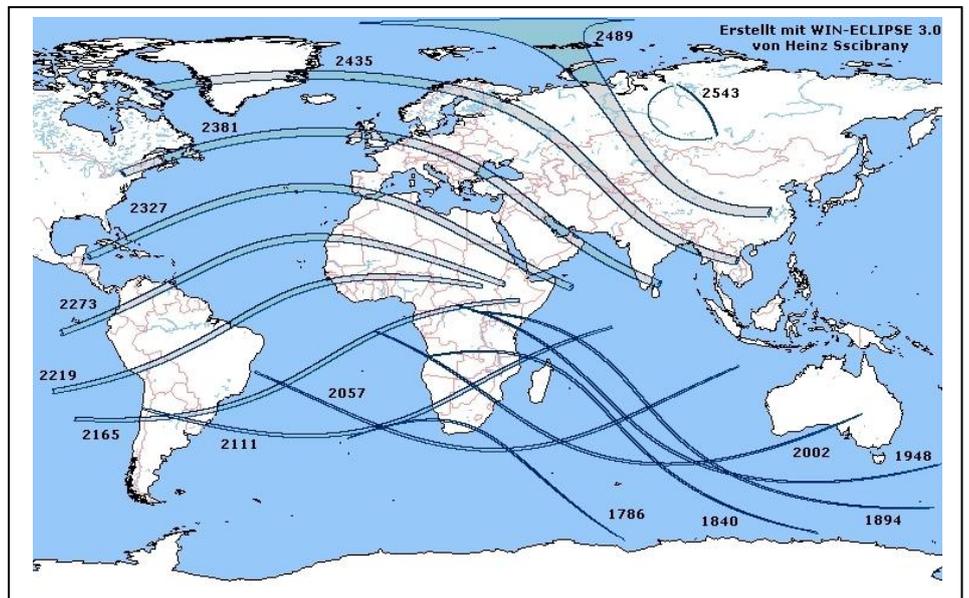
(27,2122208 días) es el intervalo medio entre dos pasos de la Luna por el mismo nodo, ascendiente o descendiente de su órbita. El mes anomalístico (27, 55454987 días) es el intervalo de tiempo entre dos sucesivos pasos de la Luna por su perigeo.

Después de un saros se repetirá un eclipse homólogo, que ocurrirá unas ocho horas más tarde durante el día correspondiente, por lo que la línea de centralidad estará 120° desplazada hacia el oeste y, por consiguiente también estará desplazada toda la región de visibilidad del eclipse.



Eclipses correspondientes al saros número 136 entre los años 1901 v 2045

El exeligmo corresponde a un periodo de tres saros, por lo que el eclipse se repetirá casi a la misma hora del día, ya que los 120° u ocho horas de tiempo, multiplicadas por tres nos trasladan al origen del anterior exeligmo. Cada uno de ellos dura 19.755,9639 días, aproximadamente 54 años y un mes, transcurridos los cuales la línea central del eclipse se encontrará, más o menos, sobre las mismas coordenadas geográficas pero un poco desplazado hacia el norte o hacia el sur, según la estación en la que ocurra el eclipse, ya que el mes extra a los 54 años hace que el plano de la Eclíptica esté más alto o bajo sobre el horizonte local.



Exeligmos correspondientes al saros número 142

Existen otros ciclos, más largos o más cortos, como el inex, el semestre y el mes sinódico, pero no van a ser tratados aquí, aunque el primero de ellos pudiera aportar algo más a la investigación en el presente trabajo.

Si a toda esta complejidad mostrada sobre la predicción del eclipse por Tales se le suman otros factores, hasta ahora no tenidos en cuenta aquí, como pueden ser la existencia o no de unas condiciones meteorológicas y astronómicas adecuadas para cada eclipse, junto con las circunstancias locales que tuvieron lugar, como pudieron ser la hora local, la altura y acimut del Sol, me inclinan a ser aún más escéptico y menos crédulo con lo que nos han transmitido los textos, al respecto de la predicción del eclipse de sol hecha por Tales.

A continuación y para finalizar este artículo voy a recoger en un cuadro todos los eclipses de sol que pudieron ser visibles desde Mileto, a lo largo del siglo VII y principios del VI a.C., con la intención de que estos datos ayuden en las futuras investigaciones a todo aquel que se aproxime, de nuevo, al estudio de la batalla del eclipse de sol y a la histórica predicción del evento astronómico realizada supuestamente por Tales.

Número	Tipo	Fecha	Magnitud	Oscurecim.	Hora local	Acimut	Altura
3.101	Anular	10 - X - 694	0,228	12,47 %	6 h 38 m	110°	18°,2
3.111	Total	28 - VII - 690	0,657	58,06 %	17 h 24 m	281°,7	20°
3.113	Total	18 - VII - 689	0,183	9,25 %	8 h 6 m	89°	38°,1
3.114	Anular	11 - I - 688	0,946	86,02 %	10 h 42 m	157°	25°,9
3.131	Anular	28 - VIII - 682	0,278	16,81 %	12 h 8 m	183°,2	65°,1
3.140	Anular	17 - VI - 678	0,479	36,34 %	6 h 13 m	73°,9	17°,6
3.182	Anular	12 - I - 661	0,796	72,35 %	15 h 48 m	229°,3	11°,3
3.185	Anular	27 - VI - 660	0,927	89,16 %	15 h 23 m	267°,9	44°
3.194	Total	15 - IV - 656	0,928	92,42 %	9 h 48 m	126°,8	47°,2
3.210	Anular	7 - VI - 650	0,81	74,51 %	10 h 40 m	130°	68°
3.213	Anular	21 - XI - 649	0,924	89 %	14 h 25 m	220°	23°,1
3.218	Total	6 - IV - 647	0,981	98,53 %	9 h 58 m	131°,6	45°,4
3.236	Anular	11 - XI - 640	0,645	54,83 %	9 h 1 m	135°,2	23°,4
3.246	Total	29 - VIII - 636	0,699	63,08 %	17 h 1 m	271°,9	17°,4
3.248	Total	19 - VIII - 635	0,644	56,5 %	7 h 30 m	90°,4	26°,4
3.249	Anular	12 - II - 634	0,866	80,91 %	10 h 7 m	143°,3	28°,1
3.314	Total	30 - IX - 609	0,585	49,23 %	8 h 28 m	115°,8	29°,6
3.319	Anular	13 - II - 607	0,762	68,86 %	15 h 31 m	229°,8	20°,5
3.322	Anular	30 - VII - 606	0,625	52,56 %	9 h 31 m	106°,4	53°
3.332	Total	18 - V - 602	0,499	39,82 %	8 h 1 m	94°,7	36°
3.349	Anular	9 - VII - 596	0,724	63,88 %	5 h 4 m	242°,5	3°
3.351	Anular	28 - VI - 595	0,317	20,39 %	10 h 50 m	308°	69°,8
3.352	Anular	23 - XII - 595	0,614	51,34%	16 h 50 m	59°,6	0°
3.356	Total	9 - V - 593	0,457	35 %	8 h 10 m	278°, 5	35°,9
3.371	Anular	29 - VII - 587	0,886	82,46 %	19 h 10 m	116°	0°
3.376	Anular	14 - XII - 586	0,745	66,47 %	10 h 55 m	343°, 2	27°, 5
3.379	Total	28 - V - 584	0,97	97,35 %	17 h 50 m	106°	13°
3.388	Total	21 - IX - 581	0,798	75.2 %	8 h 20 m	290°	29°,3
3.389	Anular	16 - III - 580	0,566	45,9%	7 h 55 m	289°	16°,6

La primera columna nos da el número correspondiente al eclipse en " Five millennium catalog of solar eclipses ", la segunda el tipo de eclipse, la tercera la fecha astronómica en la que ocurrió que, en este cuadro siempre es un año menos que las empleadas por los historiadores, ya que se tiene en cuenta el año 0, la cuarta indica la máxima magnitud del eclipse, siempre parcial en el cuadro, porque

por Mileto no pasó la franja de totalidad en ningún eclipse, la quinta el tanto por ciento de oscurecimiento máximo de la superficie del Sol, la sexta la hora local para el momento máximo, la séptima y octava el acimut y la altura del Sol, respectivamente, para este mismo momento.

Bibliografía

- Herodoto: " Historia ". Editorial Gredos.
- Jenofonte : " Anábasis ". Editorial Gredos.
- Jenofonte : " Helénicas ". Editorial Gredos.
- E. Cassin, J. Bottero, J. Vercoutter : " Los imperios del antiguo oriente III ". Historia Universal S. XXI, volumen 4.
- Jean Meeus : " Elements of solar eclipses 1.951 - 2200 ". Editorial Willmann - Bell.
- Jean Meeus : " More mathematical astronomy Morsels " . Editorial Willmann - Bell.
- Jean Meeus : " Astronomical algorithms " . Editorial Willmann - Bell.
- " Five millennium canon of solar eclipses : - 1.999 to + 3.000 ". NASA
- Kevin Leloux : " The battle of the eclipse (may 28, 585 BC): a discussion of the Lydo - median treaty and the Halys border " .
- Dimitri Panchenko : " Thales's prediction of a solar eclipse ". Adsabs.harvard.edu,1.994.
- Miguel Querejeta : " On the eclipse of Thales, cycles and probabilities ". Culture and cosmos. Vol 15
- F. Richard Stephenson and Louay Fatoohi : " Thales's prediction of a solar eclipse ". Urban university.
- Dirk Couprie : " Thales and the solar eclipse of 28 may 585 BC " .
- Thomas Worthen : " Herodotus's report of Thales's prediction of an eclipse ". University of Arizona.