

precisamente el viernes, 2 de septiembre de 1580, puesto que, para cualquier otro día, inclusive para el mismo año, los resultados serán necesariamente distintos³³.

Si esta observación se hace el 2 de septiembre no es porque sea 3 días antes del eclipse (fenómeno que, de todas maneras, no se produce en esa fecha en 1580), sino porque en dichos días la observación del Sol no se afecta por la ecuación de tiempo, simplificando los cálculos. También pudo haberse hecho cerca del 2 de septiembre porque en julio esas determinaciones se hacen extremadamente difíciles en latitudes bajas, como es el caso de Puerto Rico.

De todas maneras, el hecho de que concuerde o no la ecuación de tiempo nos es totalmente inconsecuente porque no vamos, dada la escasez de información que hay en el teórico de Sol, a entrar en especulaciones sobre el instrumento que se utilizó para esa observación (de haber sido distinto a lo que explicaba la instrucción de 1580), ni sobre otras rayas o marcas aparte de las del punto de mediodía, que son sencillas, comprobables, tradicionales y utilizadas desde tiempo antiguo (todavía en la navegación y en la observación en tierra contemporáneas) para determinar latitud. Esta determinación tampoco depende de que tengamos un cronómetro a la mano: cuando el Sol llegue a su punto más alto, ése será exactamente el mediodía; y por ahí cruzará el meridiano. Así es como se hace en el mar, y así es como se trazaban los meridianos tradicionalmente en la astronomía aplicada a la latitud. El meridiano de cada lugar era el punto donde el Sol, precisamente, estaba en su punto más alto al mediodía.

Aquí llegó la sombra cuando se comenzó a clisar la Luna

El problema de la observación del eclipse de luna, aunque intenta resolver un problema geográfico más complejo (aunque de cálculos más sencillos) no presenta mucha dificultad respecto a la fecha en que se produce porque estamos trabajando con un fenómeno astronómico de poca frecuencia: un eclipse total de Luna. No así el lugar desde donde se registra. Su procedencia se pone en duda, principalmente, por carecer de las identificaciones de fecha, lugar y testigos que debían incluirse en el teórico. De la contestación al capítulo sexto de la Memoria de Melgarejo se desprende que dicho diagrama debería corresponder al observado por Juan Ponce de León y compañía en la noche del 15 de julio de 1581; más aún: la instrucción de 1580 tenían como objetivo expresamente este evento. El proceso matemático que llevamos a cabo a continuación se hace con el propósito de comprobar que el teórico corresponde a una longitud de 66° norte, compatible con la de Puerto Rico (y, por lo tanto, que es posible que sea el de Ponce).

Evidentemente, la observación del eclipse de Luna queda animada hacia la longitud porque desde la antigüedad estos fenómenos astronómicos se han usado para tales propósitos: se mide la distancia angular, partiendo del meridiano de un lugar en el momento cuando comienza el eclipse (generalmente, la fase umbral). Esa distancia, luego, se compara con la distancia angular de otro punto diferente en longitud, usualmente referido como *punto fijo*, y restando o sumando uno del otro (dependiendo de a qué lado queda uno de los lugares respecto al meridiano del otro), se obtiene la distancia en grados. Esta diferencia se suma o se resta de la longitud inicial (dependiendo a qué lado del meridiano nos traslademos) para obtener la longitud de la segunda localidad. Por lo tanto, como el eclipse comienza al mismo instante para todo el hemisferio desde donde será visible³⁴, si se conoce la posición de Madrid o de Sevilla (que serían lugares pertinentes, a este caso, en la península

³³ Es posible imaginar que la observación sí haya sido hecha el viernes, 2 de septiembre de 1588 (aún cuando no tenemos evidencia al respecto), y que la altura fuese, efectivamente, 13.9°. En ese caso, esta observación no hubiese sido hecha desde Puerto Rico, sino de algún otro lugar, puesto que para dicho día, la medida esperada de la altura debería ser, justamente, cerca de 10°.

³⁴ Por eso es que en unos lugares, la Luna saldrá antes de comenzar el eclipse, mientras que en otro —en longitudes al oeste del primero— la Luna podría salir comenzando el eclipse, avanzado o en sus últimas etapas.

ibérica) en el instante en que ocurre la entrada de la Luna en umbra, y se tienen los valores de la observación correspondiente a Cartagena de Indias o a San Juan de Puerto Rico (que es lo que quiere obtenerse del teórico del eclipse), se podrá determinar su longitud.

[Véase al final el mapa con el hemisferio del eclipse.]

Para la siguiente demostración, descansamos en *Canon of Lunar Eclipses, 1500 B.C - 3000 A.D.*³⁵, un trabajo valiosísimo, y sorprendentemente poco conocido de Bao-Lin Liu, famoso astrónomo chino de prestigio internacional, quien, en colaboración con Alan D. Fiala, ha hecho un extenso estudio de los eclipses lunares, tanto umbrales como penumbrales dentro de esas fechas, que nos resuelve las distancias angulares del eclipse de Luna de 1581.

Tabla 2
Datos del eclipse total de Luna, 16 de julio de 1581 (UT)

Fecha	T ₁	T ₂	T ₃	T _m	T ₄	T ₅	T ₆
16 de julio de 1581	1:34	2:32	3:42	4:11	4:40	5:50	6:48

Datos obtenidos de Bao-Lin Liu y Alan D. Fiala, *Canon of Lunar Eclipses, 1500 B.B - A.D. 3000*. T₁ es el comienzo de la fase penumbral; T₂, comienzo de la fase umbral; T₃, comienzo de la fase total; T₄, eclipse medio; T₅, fin de la fase total; T₆, fin de la fase umbral, y T₆, fin de la fase penumbral. Para el resto de los datos, consúltese esta obra.

El eclipse, tomado en tiempo universal, ocurre el 16 de julio de 1581. El eclipse medio es a las 4:11, hora de Greenwich (12:11 a.m., hora de Puerto Rico).

[Véase al final la reproducción del teórico del eclipse de luna]

Si examinamos el teórico del eclipse de Luna, observamos un círculo partido en dos mitades por una línea representando el meridiano del lugar de observación, y dos líneas adicionales cuyo origen es el centro del círculo y se extienden, en dirección sur, hasta tocar la circunferencia. Estas rayas son las marcas hechas en la noche del eclipse, e indican los instantes cuando comenzó y finalizó el evento, respectivamente. Como ya conocemos, sobre la base de la instrucción de 1580, estas dos líneas señalan los ángulos descritos por la sombra del estilo. Utilizando un transportador para medir los ángulos, obtenemos que sus medidas son las siguientes:

$$\text{ángulo inicial } (P\alpha_1) = 28^\circ$$

$$\text{ángulo final } (P\alpha_2) = 38^\circ$$

Como en el procedimiento anterior, nuestra prueba partirá de los datos matemáticos. En esta ocasión, los ofrecidos en el *Cannon of Lunar Eclipses* para la localidad de Greenwich, Inglaterra (incluidos en la Tabla 2), cuya longitud nos es conocida: 0°. Puerto Rico se encuentra a 66° 07' al oeste de este punto, lo que representa una diferencia, en hora natural, de 4h24.5m con respecto a Greenwich:

³⁵ Bao-Lin, Liu y Alan D. Fiala, *Canon of Lunar Eclipses, 1500 B.C - A.D. 3000*. Richmond, Willmand-Bell, Inc., 1992.

$$\begin{aligned}
 H_p &= \ddot{\epsilon} \div 15 \\
 &= 66.116667^\circ \div 15 \\
 &= 4.4077778h \\
 &= 4h 24m 28s \\
 &= 4h 24.5m
 \end{aligned}$$

Por estar al oeste del meridiano de Greenwich, esta hora se restará de los tiempos (T^G) ofrecidos por Bao-Lin Lui para obtener los tiempos correspondientes a Puerto Rico (T^P), que calcularemos de la siguiente manera. Tomemos como ejemplo la hora del eclipse medio (T_m):

$$T_m^P = T_m^G - H_p$$

donde T^P representa la hora cuando ocurre el eclipse medio en Puerto Rico, T^G es el tiempo del eclipse medio en Greenwich y H_p es la diferencia en horas entre ambas localidades (anteriormente determinada). Las horas se usarán en forma decimalizada y en tiempo universal, como hiciéramos en el procedimiento del teórico del Sol.

$$\begin{aligned}
 T^P &= T^G - H_p \\
 &= (4.1833333h + 24h) - 4.4077778h \\
 &= 23.775556 \\
 &= 23h 46m 32s \\
 &= 23h 46.5m
 \end{aligned}$$

Observamos, pues, que el eclipse medio se produce en Puerto Rico a las 23h46.5m UT, apenas 14 minutos antes de la medianoche. Siguiendo la metodología anterior para cada uno de los tiempos de Greenwich, obtenemos los siguientes tiempos para Puerto Rico:

Tabla 3

Datos del eclipse total de Luna, 15-16 de julio de 1581, correspondientes a Puerto Rico (UT)

T_1	T_2	T_3	T_m	T_4	T_5	T_6
21:09	22:07	23:17	23:46	0:15	1:25	2:23

T_1 es el comienzo de la fase penumbral; T_2 , comienzo de la fase umbral; T_3 , comienzo de la fase total; T_m , eclipse medio; T_4 , fin de la fase total; T_5 , fin de la fase umbral, y T_6 , fin de la fase penumbral.

Un eclipse de Luna se puede dividir en siete etapas consecutivas que responden a tres fases principales: comienzo de la fase penumbral (T_1), comienzo de la fase umbral (T_2), comienzo de totalidad (T_3), eclipse medio (T_m), fin de la totalidad (T_4), fin de la fase umbral (T_5) y fin de la fase penumbral (T_6). Como todo observador experimentado en eclipses⁴ lunares conoce (independientemente de la época histórica⁶), la entrada y salida de la

penumbra —la parte más tenue de la sombra de la Tierra proyectada sobre la faz de la Luna— es extremadamente difícil de detectar, tal que para la mayoría de los observadores resulta simplemente imperceptible. La instrucción de 1580 pedía que la primera marca si hiciera “quando determinada y claramente se entendiere que se escurece”. A nosotros, como a Ponce, no nos cabe duda que esto debía referirse al comienzo de la entrada de la umbra, que es mucho más fácil de distinguir. Por lo tanto, los tiempos (T) en que debieron hacerse las marcas deben responder al comienzo (T₁) y fin (T₂) de la fase umbral. De ser así, los ángulos que obtendremos del proceso matemático deberán aproximarse a los ángulos determinados por Ponce la noche del 15 al 16 de julio de 1581. Llamaremos α^P y α^G a los ángulos correspondientes a dichos tiempos, respectivamente. Estos se obtienen de la siguiente manera:^{2 5}

$$\begin{aligned}\alpha &= T \times 15 \\ \alpha_2^P &= T_2 \times 15 \\ &= 22.125556 \times 15 \\ &= 331.88334^\circ\end{aligned}$$

Restando 360° a este resultado, tenemos que la medida de α_2 es de 28.1°

$$\text{ángulo de Ponce, } \alpha_1^P = 28^\circ \qquad \text{ángulo calculado, } \alpha_2^P = 28.1^\circ$$

[Aquí va el diagrama con la correspondencia entre los ángulos PR-G.]

La coincidencia perfecta de estos ángulos (el calculado por nosotros y el observado por Ponce) es evidencia matemática suficiente para confirmar que, efectivamente, la observación del eclipse de Luna necesariamente tuvo que haberse visto desde algún lugar con longitud de 66° oeste. Por otra parte, si seguimos las técnicas empleadas tradicionalmente, debemos sumar la medida de Ponce de 28° a la longitud previamente conocida de un lugar determinado. Nosotros no tenemos los ángulos que pudieran haberse medido en Greenwich directamente (si se hubiera llevado a cabo una observación paralela el 15-16 de julio de 1581), pero podemos calcularlo utilizando los datos que ofrece Bao-Lin Liu para T₂:

$$\begin{aligned}T_2^G &= 2:32 \text{ UT} \\ &= 2.5333333 \text{ UT} \\ \alpha_2^G &= T_2^G \times 15 \\ &= 2.5333333 \times 15 \\ &= 38^\circ\end{aligned}$$

Así pues, la longitud derivable del ángulo medido por Ponce debe ser:

$$\begin{aligned}\lambda^\circ &= \alpha_2^G + \alpha_2^P \\ &= 38^\circ + 28^\circ = 66^\circ\end{aligned}$$

Hemos sumado los ángulos porque Puerto Rico se encuentra al oeste de Greenwich. En definitiva, la observación se hizo desde un punto cuya longitud es 66° oeste.

El segundo ángulo de Ponce ($P\alpha$), que mide 38° (no se confunda esta medida con el ángulo del comienzo de la entrada de la Luna en umbra desde² Greenwich), nos presenta una diferencia significativa con respecto al ángulo calculado matemáticamente:

$$\begin{aligned}\alpha_5^P &= T_5 \times 15 \\ &= 1.4255555 \times 15 \\ &= 21.383333^\circ\end{aligned}$$

ángulo de Ponce, $P\alpha_2 = 38^\circ$

ángulo calculado, $\alpha_5^P = 21.4^\circ$

Evidentemente, Ponce no ha tomado la medida al instante en que se produce la salida de la umbra de la faz de la Luna a la 1:25 a.m. del 16 de julio de 1581 (como era lógico esperar). Esto nos deja con una sola posibilidad: contrario a la observación de Sol, Ponce, esta vez, ha seguido la instrucción de 1580 al pie de la letra, y su segunda marca la ha hecho justamente al momento “cuando la Luna acabare de cobrar toda su luz, y en viéndose que esta ya limpia de tiniebla y redonda”. Es decir, no se trata del fin de la fase umbral, sino el fin de la fase penumbral. Por este ángulo sabemos que este instante, según percibió Ponce, se produjo a las 2:32 a.m., a tan sólo 8 minutos de la hora astronómica oficial.

$$\begin{aligned}T_6^P &= P\alpha_2 \div 15 \\ &= 38 \div 15 \\ &= 2.5333333 \\ &= 2h32m\end{aligned}$$

Por experiencia, sabemos lo difícil (si no casi imposible) que es ver la fase penumbral de un eclipse de Luna, y más difícil aún decidir el instante preciso en que finaliza. En una observación de campo hasta resultaría en una determinación altamente subjetiva. Que Ponce haya tenido una desviación de ocho minutos es totalmente comprensible, si no enteramente admirable.

Tal vez nunca sabremos cómo estuvieron las condiciones climatológicas en Puerto Rico la noche del 15 al 16 de julio de 1581, pero pudiera haber pasado—como frecuentemente sucede en esta isla tropical—que las nubes hubiesen ocultado la Luna al momento del final de la fase umbral. Esto habría llevado a Ponce, si no a guiarse estrictamente por la instrucción, a marcar la salida de la penumbra para terminar el proceso, lo que demostraría, una vez más, que él o Antonio de Santa Clara (coautor de la *Memoria de Melgarejo*) tenían suficiente conocimiento científico para saber que con esta otra marca también sería posible cumplir con el requerimiento de “Su Magestad y Consejo Real de las Indias”.

Conclusión

Nosotros creemos que la comprobación matemática que se ha seguido en este estudio es suficiente evidencia para la afirmación de que, matemáticamente, tanto la latitud como la longitud son compatibles con las coordenadas geográficas de la ciudad de Puerto Rico, y que las observaciones del Sol fueron hechas del 31 de agosto al 2 de septiembre de 1580, aún cuando no aparezcan los datos de fecha, lugar o testigos en ambos teóricos. La corroboración astronómica nos permite, por lo menos, aceptar que es enteramente lógico que estos dos teóricos acompañaran la memoria enviada al Consejo Real de Indias por el gobernador Juan López de

Melgarejo a comienzos del año 1582, alejándonos de las meras conjeturas y suposiciones sin fundamento que, desgraciadamente, han plagado otros trabajos de la historiografía contemporánea.

La observación del Sol no se hace unos días antes del eclipse del 15 de julio de 1581, sino que es perfectamente compatible con la altura del astro para principios del mes septiembre (nunca para principios de julio, puesto que no sería posible—y en el mejor de los casos extremadamente difícil) y que se sigue un criterio de observación astronómica fundamentalmente correcto. Afortunadamente nosotros no nos hemos visto en la necesidad de entrar minuciosamente en las discrepancias que hay entre los diagramas y la instrucción de 1580 para la observación del Sol y de la Luna (particularmente la del Sol) porque nuestro interés particular (al igual que para el Consejo Real de Indias) es la lectura de la altura del Sol al punto del mediodía y los ángulos de las sombras del eclipse de Luna.

Que Ponce o el bachiller Santa Clara sean los autores se puede probar solamente en tanto y en cuanto se verifica que se trata de una observación de Sol de septiembre de 1580 y una observación de eclipse, consecuentemente, de 1581, puesto que hay uno y exactamente sólo un punto en la Tierra localizado en la latitud $18^{\circ} 28'$ norte y longitud $66^{\circ} 07'$ oeste: la ciudad de Puerto Rico en la antiguamente llamada isla de San Juan Bautista.

El siglo XVI fue para España un siglo de altos conocimientos astronómicos aplicados al arte de navegar. Para entonces, fue el primer y único de los reinos europeos en contar con un cargo de cosmógrafo. Los trabajos científicos más destacados fueron traducidos a los principales idiomas europeos, y muchos de ellos contaron con una extraordinaria difusión que les valió numerosas ediciones en varios países del continente. No es sorprendente que dicho conocimiento tuviera igual difusión en el Nuevo Mundo y que criollos como Juan Ponce de León fueran capaces de realizar importantes contribuciones a la boyante astronomía pretelescópica.

Este ejercicio, precisamente, comprueba la alta calidad de esa astronomía española, particularmente la navegacional, tan poco conocida o resaltada en la historiografía anglosajona.