

ANTONIO DE ULLOA. EL ECLIPSE TOTAL DE SOL DEL 24 DE JUNIO DE 1778

Teodoro LÓPEZ MORATALLA
Capitán de Navío, Doctor en Ciencias Físicas,
Subdirector del Real Observatorio
de la Armada

Introducción

Sin duda es conocida y reconocida la actividad desarrollada por el ilustre e ilustrado marino don Antonio de Ulloa y de la Torre-Giralt, durante la famosa expedición para la medición de un arco de meridiano. Tras esta campaña, realizada entre 1735 y 1744, Ulloa permaneció «en seco» treinta años, hasta que en la parte final de su carrera y a petición propia fue nombrado jefe de escuadra de la Flota de Nueva España, bajo la consigna de «ir y volver con la presente Flota», con un valioso cargamento de oro acuñado y en barras, plata acuñada y en lingotes, grana y añil, y cobre que, en su mayor parte, se estibó en las sentinas como lastre. La campaña, realizada entre 1776 y 1778, fue la última del sistema de navegación ultramarina con buques navegando en conserva, antes del fin del monopolio del comercio de las colonias españolas, que únicamente podían mantener relaciones comerciales con el puerto de Cádiz (1).

Esta etapa de nuestro marino es analizada en detalle por el almirante Alberto Orte Lledó en *El jefe de escuadra Antonio de Ulloa y la Flota de Nueva España, 1776-1778* (ORTE LLEDÓ, 2006), libro en el que se describe con rigor todo lo acaecido durante el viaje de ida, la estancia en América y el tornaviaje; en la segunda parte de la obra, el almirante Orte analiza la observación del eclipse solar realizada por Ulloa. Los pormenores de esta observación los describe minuciosamente el propio Ulloa en la memoria que eleva a Carlos III (ULLOA), cuya portada se presenta en la figura de la página posterior (en lo sucesivo, nos referiremos a ella como la Memoria). Una edición facsímil de este trabajo se incluye en el estudio preliminar realizado por Francisco de Solano (SOLANO, 1992), que también es obligado citar aquí.

(1) El monopolio lo ostentó Sevilla hasta 1717, año en que la Casa de Contratación se traslada a Cádiz.

**EL ECLIPSE DE SOL
CON EL ANILLO**

REFRACTORIO DE SUS RAYOS,
LA LUZ DE ESTE ASTRO.

VISTA DEL TRAVÉS DEL CUERPO DE LA LUNA,
Ó ANTORCHA SOLAR EN SU DISCO,
OBSERVADO EN EL OCCEANO
EN EL NAVIO EL ESPAÑA,

CAPITANA DE LA FLOTA DE NUEVA ESPAÑA,
MANDADA
POR EL GEFE DE ESQUADRA
D. ANTONIO DE ULLOA,

Y PRACTICADA LA OBSERVACION
POR EL MISMO GENERAL,
con asistencia de otros OFICIALES DEL NAVIO, el
*veinte y quatro de Junio de mil setecientos
setenta y ocho.*



CON LICENCIA.

Madrid: En la Imprenta de D. ANTONIO DE SANCHA.
Año de M. DCC. LXXIX.

Portada de la Memoria de Ulloa sobre la observación del eclipse de sol de 1778

Como indica el título de estas notas, nos centraremos en el eclipse solar del 24 de junio de 1778, con el que Antonio de Ulloa puso fin a su actividad científica. Sin dejar de lado el carácter histórico que caracteriza esta revista, abordaremos fundamentalmente los aspectos astronómicos de la observación del eclipse, con la que Ulloa pretendía mejorar la longitud geográfica conocida del cabo de San Vicente.

El cálculo de la longitud en la mar era un tema aún candente en ese tiempo. Con el comienzo de los viajes transoceánicos surge la necesidad de mejorar los métodos de navegación, necesidad que fue sentida rápidamente por los gobiernos europeos, que promovieron la búsqueda de una solución para el problema de determinar la longitud en la mar (2). Pocos años antes de la campaña de Ulloa como jefe de escuadra, se habían obtenido las dos soluciones que empezaban a difundirse y que convi-

vieron durante todo el siglo XIX: el método de las distancias lunares y el método de los cronómetros. El Almanaque Náutico británico, con inclusión de las distancias lunares, había aparecido en 1767 y el español no lo haría hasta 1791, fecha en que se editó el *Almanaque Náutico y Efemérides Astronómicas para el año bisiesto de 1792*, primeras efemérides españolas de carácter nacional y cuartas del mundo.

En tierra, el problema admitía diversas soluciones que eran impracticables desde la mar, debido a la complejidad de la observación de los fenómenos en las que se basaban. Desde el siglo XVI, se utilizaron métodos como la observación de los satélites de Júpiter (3), las ocultaciones de planetas y estrellas por

(2) En 1598 la Corona española fue la primera en convocar un concurso internacional, con un premio de 6.000 ducados y 2.000 de pensión anual vitalicia para quien encontrase una solución al problema de calcular la longitud en la mar. A la convocatoria concurrió el propio Galileo Galilei, que propuso un método basado en la observación de los eclipses de los satélites de Júpiter. La iniciativa española fue imitada por otros países como Holanda en 1636, Francia en 1715 y Gran Bretaña, que en 1714 constituyó el Board of Longitude, que estableció el Premio de la Longitud para incentivar la resolución del problema de la longitud. El problema no se resolvió hasta la segunda mitad del siglo XVIII.

(3) Por ejemplo, en 1724 Louis Feuillée aplicó este método para establecer la posición de la isla de El Hierro y del pico del Teide con respecto al observatorio de París. Luis Godin y

la Luna (4) o los eclipses de Sol y Luna (5). En palabras de Jorge Juan y Santacilia, «los eclipses de Sol y Luna llegaron a anunciarse por medio del estudio astronómico y con ello se pudieron medir las diferencias en longitud que, acompañadas de las de latitud que se anticiparon, dieron el método de colocar en los mapas los lugares y de perfeccionar aquellos» (6).

Con los métodos e instrumentos de navegación de la época, la observación desde la mar de un eclipse solar no era el procedimiento más indicado para calcular la longitud de un punto de tierra que no estaba a la vista. Como además Ulloa no disponía de los instrumentos adecuados para tal observación, no se pudo lograr el objetivo de calcular la longitud del cabo de San Vicente. No obstante, la observación del eclipse proporcionó resultados relevantes para la época, de los que se hicieron eco las principales academias científicas europeas. En cierto sentido, Ulloa fue muy afortunado, pues pudo apreciar lo que él llamó «el anillo refractario de sus rayos», siendo esta una de las primeras observaciones científicamente documentadas de la corona solar. Pero Ulloa también pudo observar un fenómeno al que aún hoy en día no se ha dado una explicación definitiva; se trata del «punto luminoso» que vio sobre la superficie de la Luna durante la fase de totalidad y que pertenece a la categoría de *Fenómenos Lunares Transitorios*.

Forzosamente limitados en extensión, analizaremos las circunstancias que rodearon el eclipse y su observación, la justificación que hizo Ulloa de los atípicos fenómenos observados y cuál es la explicación real o más plausible de los mismos. Para una mejor comprensión de las peculiaridades, el alcance y la dificultad de la observación realizada por Ulloa, es deseable conocer, al menos de forma básica, en qué consisten y cómo se producen estos fenómenos. En el entendido de que muchos de los posibles lectores pueden no tener estos conocimientos, se han incluido a lo largo del texto las explicaciones necesarias de aquellos conceptos que se consideran importantes, procurando no ser demasiado exhaustivos. Los cálculos y figuras de este

Jorge Juan también utilizaron los satélites de Júpiter en 1753 para calcular la longitud del Real Observatorio de Cádiz, año en que comenzó su andadura bajo la dirección de Godin. Trasladado en 1798 a la Isla de León, hoy ciudad de San Fernando, el Real Instituto y Observatorio de la Armada es el observatorio astronómico más antiguo de España.

(4) La utilización de las ocultaciones de estrellas y planetas por la Luna fue propuesta por Edmund Halley a finales del siglo xvii para el cálculo de la longitud. En una adición al *Almanaque Náutico para 1804*, el héroe de Trafalgar, Cosme Damián de Churrua, utiliza la observación de la ocultación de Aldebarán por la Luna, que él mismo realiza en Puerto Rico el 21 de octubre de 1793, para calcular la diferencia de longitud entre París y Puerto Rico, comparándola con los resultados obtenidos por Lalande, Mechain y Triesnecker.

(5) Por citar algún ejemplo, en una Adición al *Almanaque Náutico para 1806*, Gabriel Ciscar describe la utilización del eclipse de Sol del 11 de febrero de 1804 para calcular las diferencias de longitud entre Palma de Mallorca, Cartagena, Madrid y la Isla de León, hoy San Fernando; y en la Adición de José de la Cuesta al *Almanaque Náutico para 1807* se comprueba la «diferencia de meridianos entre el Observatorio antiguo de Cádiz y el Nacional de París», con los datos de la observación del eclipse de Sol del 16 de agosto de 1803.

(6) SOLANO (1992), p. vii.

eclipse solar que se presentan más adelante, han sido realizados expreso por el autor.

Consideraciones generales sobre eclipses solares. El eclipse total de Sol del 24 de junio de 1778

En términos generales, un eclipse es la «ocultación transitoria total o parcial de un astro por interposición de otro cuerpo celeste» (DRAE). Para que esta ocultación se produzca, debe ocurrir la alineación de los tres astros implicados. Así, cuando se alinean el Sol, la Luna y la Tierra, y en este orden, se producirá un eclipse de Sol visto desde la Tierra; mientras que si es la Tierra la que se alinea entre el Sol y la Luna, tendrá lugar un eclipse de Luna (7). De lo anterior se desprende que los eclipses de Sol siempre se producen cuando hay luna nueva y los de Luna cuando nuestro satélite se encuentra en la fase de luna llena.

Aunque el Sol es unas cuatrocientas veces más grande que la Luna, también está unas cuatrocientas veces más lejos, de forma que desde la Tierra ambos astros tienen un tamaño de aproximadamente medio grado, con lo que la Luna puede llegar a ocultar completamente al Sol.

La Luna describe una órbita alrededor de la Tierra que es aproximadamente elíptica, por lo que no siempre está a la misma distancia y, por tanto, no siempre la vemos con el mismo tamaño. El mayor tamaño aparente es de unos 34' y se produce cuando la Luna se encuentra en el perigeo, a unos 356.500 km de la Tierra; si además hay luna llena, se producirá una «superluna», término poco científico pero muy utilizado últimamente por los medios de comunicación. Cuando la Luna se encuentra en el apogeo, a unos 406.700 km de distancia, su disco aparente será de unos 29,5', su menor tamaño. Algo similar sucede con el Sol, aunque su tamaño aparente varía entre 32,6' y 31,4'. Los tamaños relativos de los discos darán lugar a diferentes tipos de eclipses de Sol, como se verá enseguida.

Al tapar la luz del Sol, la Luna proyecta el denominado *cono de sombra*, que se obtiene al trazar las tangentes exteriores de los limbos (es el cono negro de la figura siguiente). Si trazamos las tangentes interiores de los limbos, obtenemos el denominado *cono de penumbra*, de color gris en esta figura. La línea que une los centros del Sol y la Luna se denomina *eje de la sombra*.

El desarrollo de un eclipse de Luna es el mismo para todos los puntos de la Tierra y la única condición para observarlos es que la Luna esté por encima del horizonte y, evidentemente, que no haya nubes. Por el contrario, la visibilidad y la forma en que se desarrolla un eclipse de Sol dependen del lugar de

(7) En principio, el término «eclipse» también incluiría el caso de un planeta (forzosamente Mercurio o Venus) que se interpusiese entre el Sol y la Tierra, fenómeno que se conoce como *tránsito del planeta por el disco solar*, o el caso en el que la Luna tapa la luz de una estrella o planeta, que se conoce como *ocultación*.

observación; en función de donde nos encontremos, el eclipse será más o menos profundo o incluso no se producirá.

Cuando la Tierra corta el eje de la sombra y las distancias relativas son tales que el disco de la Luna es mayor que el del Sol, el vértice del cono de sombra quedará dentro de la Tierra y se producirá un *eclipse total de Sol*, que es el tipo de eclipse que observó Ulloa. En un instante dado, habrá una pequeña zona de la superficie terrestre, la intersección de esta con el cono de sombra, desde la que el Sol estará totalmente oculto por la Luna. Al mismo tiempo, los puntos de la Tierra situados en el interior del cono de penumbra verán que la Luna tapa parcialmente el disco solar, como si le hubiese dado un mordisco. En ese mismo instante, los puntos del hemisferio terrestre iluminado por el Sol que se encuentran fuera de los conos verán el disco solar al completo. En la parte superior de la figura de la página 99 se ha ilustrado esta situación.

En la parte central de la figura mencionada se presenta una situación similar a la anterior, pero con el disco lunar más pequeño que el solar, de forma que el vértice del cono de sombra es exterior a la superficie terrestre. En este caso, la Luna no llegará a tapar completamente al Sol y los lugares situados en el interior del cono de sombra verán cómo la Luna se encuentra inmersa en el Sol, dejando ver un anillo del disco solar. Cuanto más próximo esté el lugar de observación al eje de la sombra, más simétrico será el anillo. Este tipo de eclipse se conoce como *eclipse anular*.

Finalmente, si durante el desarrollo del eclipse la Tierra no llega a cortar el cono de sombra, pero sí el de penumbra, el Sol estará parcialmente oculto por la Luna, como mucho. Hablaremos en este caso de un *eclipse parcial de Sol*, que se ilustra en la parte inferior de la figura de marras.

Durante el desarrollo de un eclipse, los conos de penumbra y sombra, representados para un instante concreto en la figura, se van desplazando sobre la superficie terrestre. Lógicamente, es el cono de penumbra el primero en tocar la Tierra, adentrándose paulatinamente en ella. Los conos se desplazan de oeste a este, debido al movimiento relativo de los cuerpos, hasta que salen por la parte oriental de nuestro planeta. En la figura de la página 100 se presenta una sucesión de imágenes de la evolución de los conos sobre la Tierra durante el eclipse de Sol del 24 de junio de 1778; el cono de sombra es la pequeña zona negra que aparece a partir de la tercera imagen.

Uno de los elementos que se facilitan en las predicciones de los eclipses realizadas por las oficinas de efemérides son las denominadas *circunstancias generales del eclipse*, que, entre otros datos, contienen las horas de principio y fin del eclipse (instantes de los contactos del cono de penumbra con la superficie terrestre), las horas de principio y fin de la fase de totalidad (contactos del cono sombra con la Tierra) y la hora del máximo del eclipse a nivel global (8).

(8) El máximo del eclipse de las circunstancias generales de un eclipse total corresponde al momento en que desde la superficie terrestre es máxima la relación entre el tamaño aparente de la Luna y del Sol.

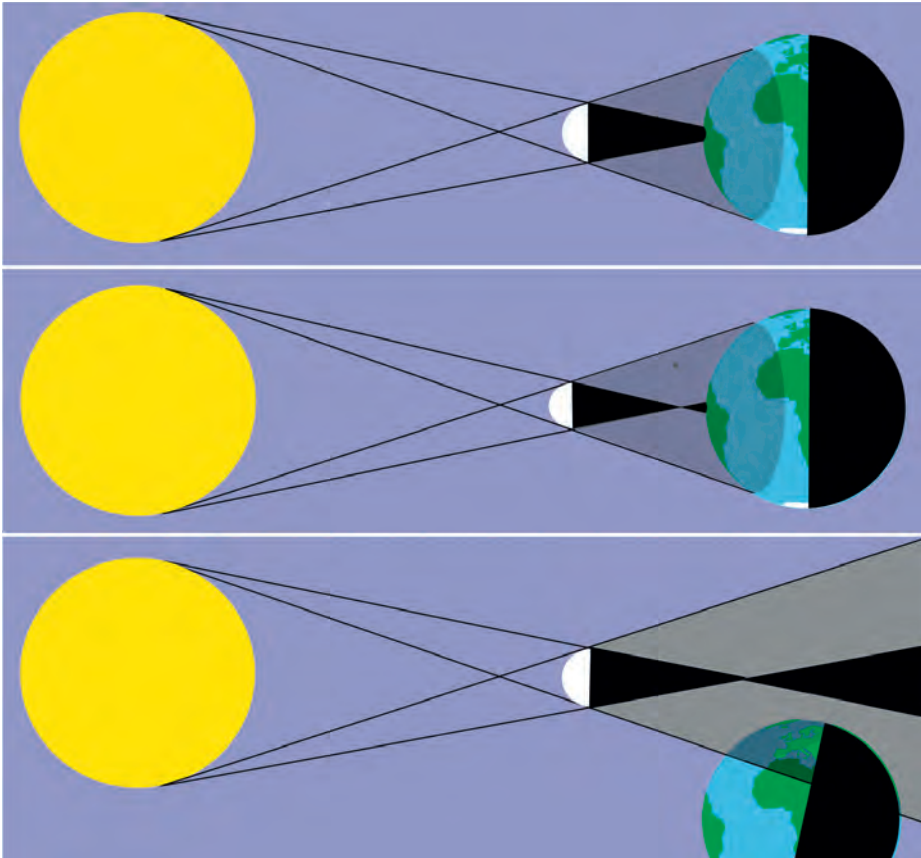
Las circunstancias generales del eclipse total de Sol del 24 de junio de 1778 fueron las siguientes:

Principio del eclipse	12 ^h 59.8 ^m UT
Principio del eclipse total	3 ^h 55.8 ^m UT
Máximo del eclipse	15 ^h 34.6 ^m UT
Duración totalidad en el máximo	5 ^m 52 ^s
Anchura zona totalidad en el máximo.....	255 km
Magnitud máxima	1,035
Fin del eclipse total	17 ^h 13.4 ^m UT
Fin del eclipse	18 ^h 09.4 ^m UT (9).

Habitualmente también se realizan mapas de visibilidad de los eclipses, que no son sino la superposición de las trayectorias de los conos de penumbra y sombra sobre la superficie terrestre, mostradas en la figura de la página 100 El mapa de visibilidad del eclipse total de Sol del 24 de junio de 1778 se presenta sin rotular en la figura de la página 101 El eclipse pudo observarse como total en la estrecha franja que cruza casi horizontalmente desde el Pacífico hasta África; en los lugares situados dentro de los límites dibujados, el eclipse se desarrolló como parcial, menos profundo cuanto más alejados de la zona de totalidad; en el interior de los lóbulos laterales, el Sol salió (lóbulo izquierdo) o se puso (lóbulo derecho) eclipsado; y para los puntos por fuera de los límites no se produjo eclipse. El pequeño punto dibujado sobre el lóbulo izquierdo es el lugar de la Tierra que primero observó el comienzo del eclipse, que además coincidió con la salida del Sol; análogamente, el punto del lóbulo derecho es el último lugar que observó el final del eclipse, a la puesta del Sol. Las líneas de trazo discontinuo corresponden a los lugares en los que el eclipse comienza (trazo estrecho) o finaliza (trazo ancho) a la misma hora exacta; no son sino el límite de la penumbra sobre la superficie terrestre a la hora en cuestión.

Para un observador situado en un lugar en la zona de la totalidad, el eclipse comenzó con el contacto exterior de los limbos del Sol y la Luna, el principio de la fase parcial; desde ese instante, la Luna fue ocultando cada vez más el disco solar, hasta que se produjo el contacto interior de los limbos, que supuso el principio del eclipse total, tras la totalidad, el desarrollo del eclipse fue el inverso al comentado. La fase de totalidad de un eclipse solar puede durar desde unos segundos hasta unos siete minutos y medio, como máximo; durante ella se producirá la mínima distancia entre los centros del

(9) UT son las siglas de Tiempo Universal, que es el *tiempo medio* del meridiano de Greenwich definido por el movimiento aparente del Sol; es lo que en ocasiones se sigue denominando GMT (*Greenwich Mean Time*), aunque esta notación está desaconsejada por la Unión Astronómica Internacional desde los años cuarenta del pasado siglo. En el epígrafe titulado «La observación desde *El España*» (ver *infra*) se trata el tema de la hora que solían utilizar los marinos de la época en sus navegaciones.

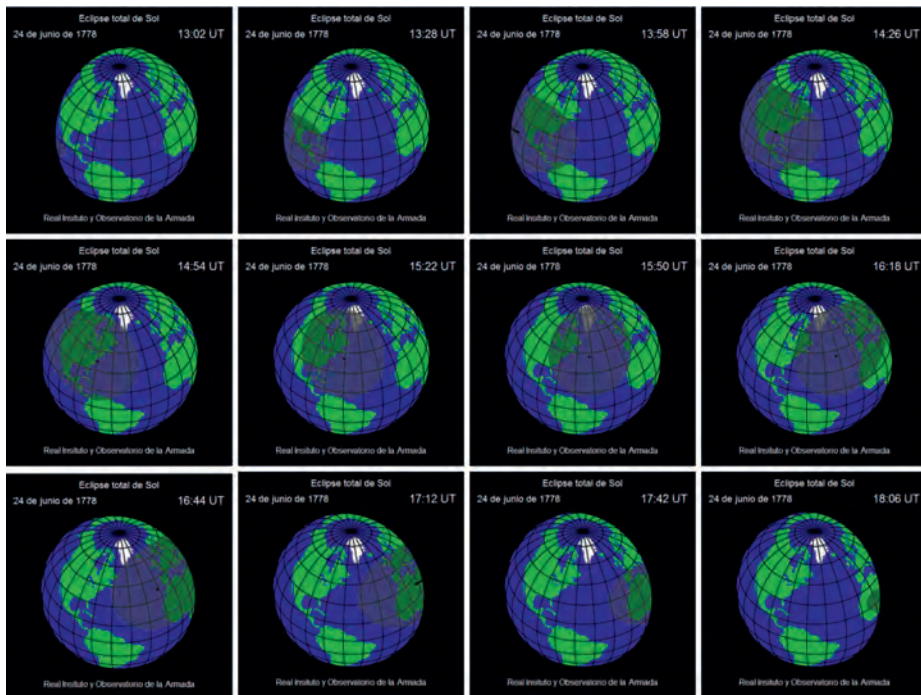


Mecanismo de los eclipses de Sol. Arriba, eclipse total; centro, eclipse anular; abajo, eclipse parcial

Sol y la Luna, instante que se corresponde con el máximo del eclipse en ese lugar.

De forma similar a las circunstancias generales antes mencionadas, las predicciones del desarrollo del eclipse que se realizan para un lugar concreto se denominan *circunstancias locales*. Entre otros datos, están compuestas por las horas de principio y fin del eclipse (contactos exteriores de los limbos), las de principio y fin del eclipse total (contactos interiores de los limbos) y el instante del máximo del eclipse.

Como ya se ha comentado, los eclipses solares se producen forzosamente en luna nueva, pero no siempre que la Luna está en esa fase hay un eclipse de Sol. Esto se debe a que la órbita de la Luna no se encuentra en el mismo plano que la órbita de la Tierra alrededor del Sol (el plano de la eclíptica), sino que está inclinada unos 5° respecto a este. Para que haya un eclipse solar

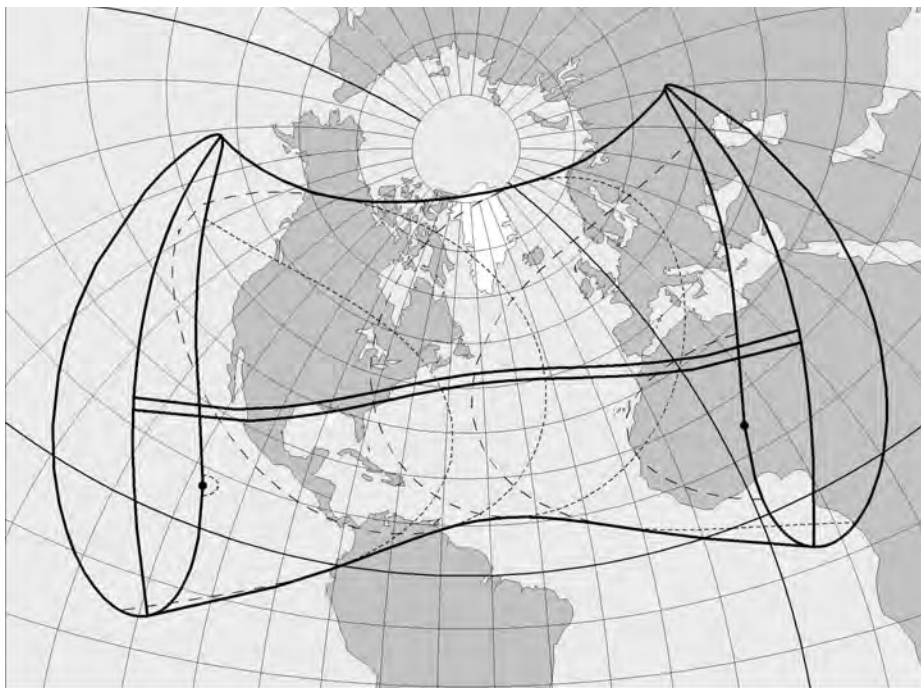


Evolución de los conos de penumbra y sombra sobre la superficie terrestre, durante el eclipse total de Sol del 24 de junio de 1778. La zona gris es la penumbra y la pequeña zona negra la sombra

no es suficiente con que sea luna nueva; además, la Luna debe encontrarse en el plano de la eclíptica o muy próxima a él, cerca de los denominados *nodos* de la órbita. Las dos condiciones se producen cada seis meses, aproximadamente.

Aunque pueda parecer un fenómeno poco frecuente, cada año se producen al menos dos eclipses solares; como máximo pueden producirse cinco, aunque esto sucede excepcionalmente (10). Pero debido a que los eclipses de Sol no se observan desde todos los puntos de la Tierra, sino que su visibilidad se limita a una zona concreta, hay bastantes años en los que ninguno es visible desde un lugar determinado.

(10) El último año con cinco eclipses solares fue 1935 y el próximo será 2206.



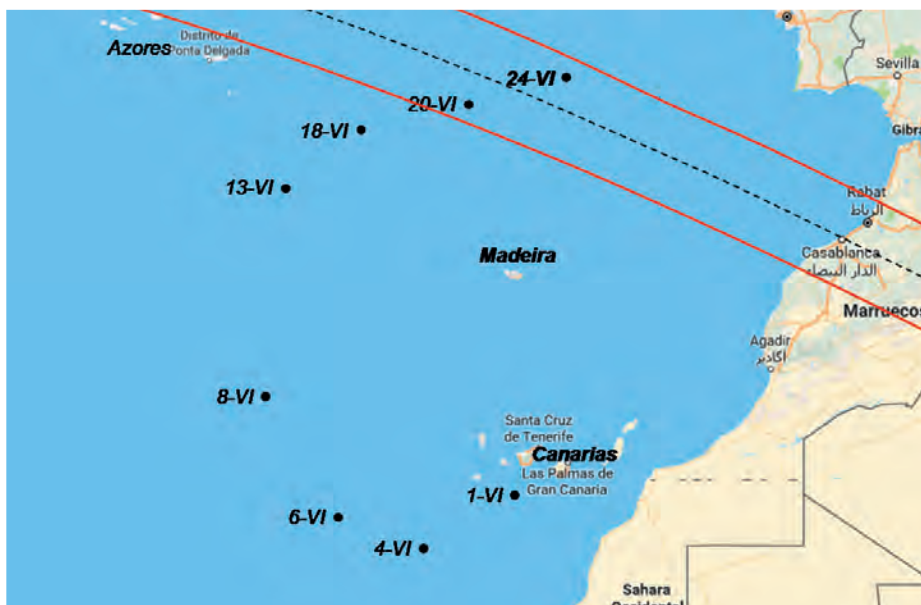
Mapa de visibilidad del eclipse total de Sol del 24 de junio de 1778

Salida de Tenerife

La Flota de Nueva España había salido de La Habana el 9 de marzo, arribando a Santa Cruz de Tenerife el 21 de mayo con un retraso considerable respecto a lo previsto. La anómala duración del tornaviaje se debió a la derrota impuesta por el ministro González de Castejón y Salazar que, con el fin de evitar encuentros con buques enemigos y asegurar el cargamento de la flota, obligó a Ulloa a atravesar la zona de calmas ecuatoriales y navegar con vientos contrarios, de componente este. Las instrucciones recibidas también imponían recalar en Tenerife, en lugar de dirigirse directamente a Cádiz, y otras normas como «no hablar con embarcación alguna que descubriese». Con todo, Ulloa calificó la travesía como «viaje felicísimo», durante el cual la flota apenas se dispersó y casi no hubo avistamientos de otros buques.

A pesar del retraso acumulado, Ulloa tardó diez días en salir de Tenerife, ante lo cual, algunos autores se han cuestionado las razones de esta tardanza (11). Nuestra opinión coincide con la del almirante Orte, que defiende que

(11) Por ejemplo, el prestigioso historiador José Luis Comellas García-Llera, en el prólogo a ORTE LLEDÓ (2006), dice: «¿Retrasó su salida de Canarias con el objeto de estudiar el fenómeno»



Derrota seguida por la Flota de Nueva España desde Tenerife hasta la observación del eclipse

Ulloa no buscó en modo alguno poder observar el eclipse. La salida la había fijado el almirante para el día 24, pero debido a la lenta aguada del navío *Dragón* se vio obligado a retrasarla, primero al 26 y luego al 28. Se habían previsto dos derrotas: una dejaba la Punta de Anaga por babor y, tomando resguardo suficiente a levante de Madeira, subía hasta la latitud del cabo de San Vicente, desde donde se debía arrumbar al este; la otra derrota se dirigía por el sur de las islas, pasaba entre Madeira y Azores y finalmente confluía con la primera en la latitud de San Vicente. El día 28 la flota intentó hacerse a la mar, pero no lo consiguió a causa de un inesperado cambio de viento, que incluso puso en riesgo de abordaje a algunos buques. En los días siguientes se volvió a intentar la salida sin éxito, hasta que el día 31 la flota se hizo a la mar, pero al tener la corriente en contra, el rumbo hacia la Punta de Anaga resultó prácticamente imposible, por lo que se decidió efectuar la salida hacia el sur y seguir la segunda de las derrotas previstas.

En la figura de esta misma página se ha representado sobre una imagen de Google Maps la derrota seguida por la flota hasta el 24 de junio, fecha del eclipse (12). Las posiciones se han tomado del gráfico VI de ORTE LLEDÓ

meno en el punto adecuado (la centralidad tuvo lugar a lo largo de una línea entre las Azores y el norte de África), o bien se trató de una simple casualidad?».

(12) A mediados de abril, en el viaje de La Habana a Tenerife, la flota estaba próxima a la longitud 30° O. Ante los vientos contrarios y la imposibilidad de alcanzar Tenerife navegando

(2006), que a su vez las calcula de las posiciones geográficas facilitadas por Ulloa en las tablas de variaciones magnéticas que presenta en su Memoria (13). En esta figura también se ha representado en trazo discontinuo la línea de centralidad del eclipse (trayectoria del eje de la sombra) y en trazo rojo continuo los límites norte y sur de la zona de totalidad, dentro de la cual el eclipse se observó como total. Estas líneas han sido calculadas por el autor y difieren ligeramente de las del gráfico VI de ORTE LLEDÓ (2006), probablemente por haberse utilizado aquí efemérides y métodos de cálculo más precisos.

La salida de Tenerife se realiza con vientos de componente norte, que van rolando al noreste en las siguientes singladuras, para volver a rolar al norte. Alrededor del 10 de junio, el viento pierde intensidad, ralentizándose la marcha de la flota, hasta que sobre el día 20 se establece viento bastante constante del oesnoroeste. Ulloa conocía las circunstancias del próximo eclipse, por lo que a la salida de Tenerife debía saber que este sucedería antes de la llegada a Cádiz, que finalmente se produjo el 29 de junio. Pero probablemente no sería hasta el día 20 cuando tuvo una idea aproximada de dónde iba a realizar la observación. Sin embargo, como se verá más adelante, hasta el mismo momento de la observación no supo que se encontraba dentro de la zona de la totalidad, hecho comprensible si tenemos en cuenta la incertidumbre en el cálculo de la posición del buque y de las predicciones de las efemérides astronómicas de la época.

Efemérides e instrumentos disponibles

Ulloa contaba a bordo con las efemérides astronómicas británicas, *The Nautical Almanac and Astronomical Ephemeris*, y francesas, *La Connaissance des Temps*, ambas para 1778 (14). En ellas se facilitaban las circunstancias generales del eclipse y las circunstancias locales para Greenwich y París, respectivamente. Las efemérides francesas también incluían una descripción somera de la línea de la centralidad: «... cruzará la Luisiana, las Azores, entrará en África por el Cabo Espartel...». Sin duda que esta información era insuficiente para conocer si *El España* se encontraba en una situación adecuada para observar la fase total del eclipse.

al sur del paralelo 32° N, tal y como le habían fijado, Ulloa convoca la Junta de Pilotos y Comandantes, en la que se decide arrumbar al norte para buscar vientos favorables, pasando al norte de las Terceras. La derrota seguida fue tal que la flota se encontraba a primeros de mayo en la misma zona que el 24 de junio, por lo que podía haber acertado su viaje en más de un mes, de no haber tenido la obligación de recalar en Tenerife, en cuyo caso no habría observado el eclipse de Sol.

(13) Las variaciones magnéticas de esta navegación se encuentran referidas al meridiano de Tenerife (pico del Teide) y se presentan en la pág. 37 de ULLOA.

(14) Como ya se ha indicado, las primeras efemérides españolas, cuartas del mundo, se publicaron en 1791 con el nombre de *Almanaque Náutico y Efemérides Astronómicas para el año bisiesto de 1792*.

Es muy posible que Ulloa tuviese más datos sobre el eclipse, obtenidos durante su estancia en México, donde tuvo contacto con el notable astrónomo José Antonio de Alzate y Ramírez, con el que probablemente pudo consultar la predicción del eclipse realizada por Lalande (1774), que incluía el mapa del eclipse que se presenta en la figura de la página 105; en él se aprecia que la zona de la totalidad se aproxima bastante a la calculada con métodos actuales (ver figura de pág. 101). También tuvo relación con Joaquín Velázquez de León y probablemente con Antonio de León y Gama, astrónomos que realizarían la observación del eclipse desde Ciudad de México. Este último había estudiado el fenómeno en profundidad, realizando sus propios cálculos sobre el desarrollo del mismo. Sus predicciones las publicó con posterioridad al eclipse en una completa obra (LEÓN Y GAMA), en la que incluyó una descripción de la observación realizada desde México. El trabajo de León y Gama contenía una detallada información de cómo se desarrollaría el eclipse en México, así como un conjunto de tablas bastantes precisas, con los límites de las zonas de visibilidad. Aunque la publicación de esta obra fue posterior a la salida de Veracruz, es muy posible que Ulloa tuviese acceso anticipado a los cálculos de León y Gama.

La flota salió de Veracruz el 16 de enero de 1778, más de cinco meses antes de la fecha del eclipse de Sol. Ulloa desconocía la derrota tan inapropiada que se le iba a imponer en las instrucciones que recibió en la escala en sobre lacrado, y que no abriría hasta unos días después de salir de este puerto. Es difícil imaginar que en sus planes entraba la posibilidad de observar el eclipse desde la mar, por lo que, aunque hubiese tenido acceso a las predicciones referidas en el párrafo anterior, nada hace suponer que dispusiese de ellas para preparar la observación en la mar.

Algo similar sucedió con los instrumentos utilizados, que se limitaron al material propio de la derrota de a bordo, que no era el adecuado para este tipo de observación. La instrumentación disponible era:

- 2 anteojos acromáticos de 3 y 4 pies, respectivamente (91 y 122 cm)
- 3 anteojos de 0,5, 2 y 2,5 pies, respectivamente (15, 61 y 76 cm)
- 1 antejo de teatro
- 1 octante
- 2 relojes de bitácora sin segundero
- 1 reloj con segundero, averiado.

La única ventaja que presentaban los anteojos de derrota frente a los telescopios refractores astronómicos era que no invertían las imágenes, lo que hacía más sencillo la búsqueda y el seguimiento del Sol. El resto eran todo inconvenientes, pues los anteojos eran apropiados para la observación de buques en el horizonte, pero no para el seguimiento en altura de un astro. Los anteojos acromáticos eran los que tenían mejores características ópticas y mayores aumentos, pero debido a sus grandes dimensiones y a su menor campo visual, resultó difícil su manejo, dificultad incrementada por tener que mantener a mano, por delante del objetivo, el filtro que permitiese la observa-



Mapa del eclipse del 24 de junio de 1778, tomado de las Efemérides de Lalande (1774) que se conservan en el Real Instituto y Observatorio de la Armada (sign. ROA-09787)

ción del Sol. De esta dificultad da cuenta el propio Ulloa en la descripción de la observación, al explicar por qué no se apreció el instante del comienzo del eclipse:

«No fue posible, por más que se deseó, observar el instante en que empezó el *Eclipse*, porque siendo incierto el cálculo y el movimiento del Navío, aunque entonces bien pequeño; siempre bastante para no permitir que se mantubiese (*sic*) el antejo fijo por algún rato sobre el Astro, causaba fatiga en la vista, y mucha penalidad en el cuerpo; siendo preciso sostenerlo en el aire, y corregir con un movimiento contrario al que hacía el Navío lo que su dirección se apartaba de él: y solo podía conseguirse en fuerza de la costumbre que se hace en las Navegaciones con el manejo de los anteojos para mirar a los otros Navíos; pues el que no la tubiese (*sic*) no podría usar de ellos para las observaciones de los Astros: Además de esto, siendo el cuerpo del *Sol* el que se había de mirar con el antejo, era preciso añadir un vidrio obscuro delante del ocular, cuya addición dificultaba más la operación, haciéndola más trabajosa» (15).

(15) ULLOA, p. 3.

Resultaron de más utilidad los anteojos pequeños que, aunque con una óptica peor, eran más adecuados para la precariedad de la observación realizada desde *El España*. El octante se utilizó para medir las alturas del Sol durante el desarrollo del eclipse.

Desde el punto de vista astrométrico, la observación realizada por Ulloa fue poco relevante. Primeramente debido a la incertidumbre en la posición geográfica desde la que se realizaron las observaciones, cuya causa hay que buscarla tanto en el andar del buque como en la poca precisión de los métodos utilizados para el cálculo de la situación en esa época. Pero además, la observación de los instantes de principio y fin de las fases del eclipse resultó poco útil, por no disponer de un cronómetro adecuado para datar los contactos de los limbos. Los relojes de bitácora no disponían de segundero y el que sí lo tenía estaba averiado:

«... mi reloj de segundos estaba descompuesto, y no habiendo tenido con anticipación la noticia de que el *Eclipse* podía ser en el modo que se observó, ni menos idea alguna de que sobreviniese estando la Esquadra en el mar, no fue dable haber tomado con anticipación providencias para hacerlo con todas las formalidades que se requerían» (16).

La observación desde *El España*

Además del propio Ulloa, en la observación del eclipse participaron el capitán de fragata Joaquín de Aranda, el teniente de navío Pedro Winthuysen y los dos pilotos de *El España*, que se encargaron de tomar las alturas del Sol con el octante. Al mediodía del 24 de junio se determinó la latitud del buque mediante la observación con el octante de la altura del Sol al paso por el meridiano superior del lugar, calculándose que el buque se encontraba en 37° 14' N. Considerando que la situación era adecuada para recalar en el cabo de San Vicente, se decidió navegar al rumbo este hasta que se avistase dicho cabo, maniobra con que Ulloa pretendía calcular la longitud de este punto, utilizando las medidas que se obtuviesen a partir de la observación del eclipse. La meridiana del Sol también se utilizó para determinar el instante del mediodía local y poner en hora los relojes disponibles, probablemente mediante el método de las alturas correspondientes (17). No obstante, por las característi-

(16) *Ibidem*, p. 12. ORTE LLEDÓ (2006) comenta hasta en tres ocasiones que el reloj con segundero de Ulloa se utilizó como contador de segundos para medir con precisión la duración de la fase total o *detención*; en la Memoria de Ulloa no hemos encontrado mención al respecto, aunque sí se considera dicho intervalo como preciso sin que se justifique la razón de ello.

(17) El método de las alturas correspondientes consiste en determinar el mediodía local observando la misma altura del Sol antes y después de su culminación. La hora que llevaban los buques era la de «tiempo solar verdadero o aparente», que utilizaba el Sol (astro) como referencia. Esta escala de tiempo está afectada por la falta de uniformidad que se deriva de la excentricidad de la órbita terrestre y de la inclinación de dicha órbita respecto al ecuador de la Tierra, inclinación que se conoce como *oblicuidad de la eclíptica*. Hasta el siglo XIX no se utilizó a bordo el «tiempo solar medio» o «tiempo medio», basado en un sol ideal que recorre el ecuador

cas de los cronómetros que se han mencionado anteriormente, la precisión de la sincronización debió realizarse al minuto de tiempo.

No hemos encontrado datos sobre qué tipo de relojes contaba Ulloa a bordo de *El España* para realizar la observación, pero con seguridad que los dos relojes de bitácora sin segundero carecían de la precisión de los que se generalizaron a bordo de los buques durante el siglo siguiente (18). Sin la avería del reloj con segundero del Jefe de Escuadra, la observación del eclipse hubiese tenido probablemente más utilidad astrométrica que la que tuvo.

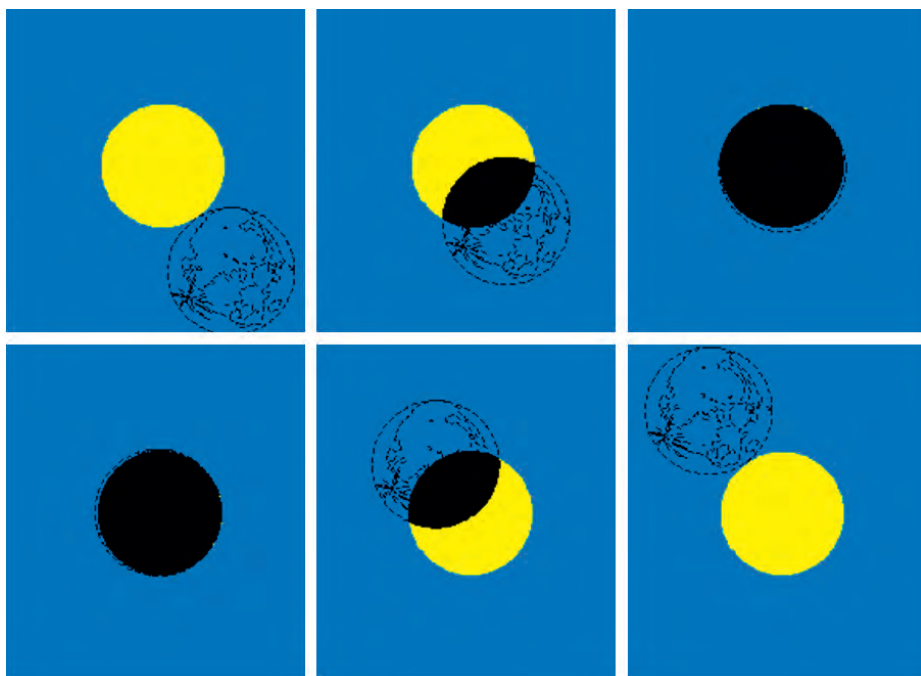
Como se acaba de comentar, *El España* arrumbó al Este antes de que comenzase el eclipse, con lo que, al estar el Sol en acimuts oeste, éste se produjo hacia la popa del navío. Las condiciones atmosféricas fueron inmejorables, con cielo despejado y buena visibilidad. Soplabla viento del oesnoroeste de intensidad moderada, que impulsaba el buque a tres nudos con poco balance y una escora soportable. La observación del eclipse se realizó desde la galería, mientras que desde la toldilla los dos pilotos medían las alturas del Sol.

El desarrollo del eclipse desde la situación de *El España* se ilustra en la figura 7. El primer contacto exterior de los discos del Sol y la Luna (principio del eclipse) se produjo en la parte inferior derecha del limbo del Sol, supuesto el cénit arriba; en este instante el Sol se encontraba en acimut 257° , con una altura de 55° . La Luna se fue desplazando hacia arriba y hacia la izquierda del Sol ocultándolo cada vez más, hasta que se produjo el primer contacto interior de los limbos, momento en el que el Sol quedó totalmente oscurecido y comenzó la fase total del eclipse o, como llama Ulloa, la *detención*; el acimut del Sol era 270° y su altura 4° . El Sol permaneció totalmente oculto hasta el segundo contacto interior, a partir del cual se fue haciendo cada vez más visible, hasta que el eclipse finalizó por la parte superior izquierda del limbo solar, con el Sol en acimut 279° y 28° de altura. El eclipse se prolongó durante dos horas y dieciocho minutos y la totalidad o detención duró cuatro minutos, que es un tiempo apreciable en este tipo de fenómenos, como se ha mencionado al exponer las características de los eclipses de Sol.

Los marinos de *El España* no sabían la hora a la que se iba a producir el fenómeno. La Luna no era visible antes del eclipse (fase nueva, muy próxima al Sol), por lo que no tenían una referencia visual de la separación entre los

a velocidad angular constante (el «sol medio»); esta escala de tiempo corrige la irregularidad del tiempo solar aparente. Más detalles sobre este tema se pueden consultar, por ejemplo, en LÓPEZ MORATALLA y GALINDO MENDOZA.

(18) Los primeros cronómetros precisos que adquiere la Armada son los «relojes de longitud» de Ferdinand Berthoud números 7, 9, 10, 12, 13, 14, 15 y 16, que llegan a Cádiz entre septiembre de 1775 y mayo de 1776 (GONZÁLEZ, 1998). Estos relojes son de los primeros construidos por Berthoud, que los fabrica después de la visita realizada a Inglaterra para examinar los cronómetros de Harrison. Por las características de los dos relojes de bitácora de *El España* (carecían de segundero), ninguno era uno de los Berthoud anteriores. Es posible que sí lo fuese el reloj con segundero del Jefe de Escuadra, pero no hemos encontrado documentación al respecto.



Simulación del desarrollo del eclipse desde *El España*.

astros y no podían estimar el tiempo que faltaba para la tangencia. Para observar el principio del eclipse debían realizar un seguimiento continuo del Sol, cuya dificultad se ha expuesto en párrafos anteriores, dificultad que se vio incrementada por los 55° de altura a la que debían apuntar los anteojos. Como consecuencia, a pesar de los esfuerzos realizados, no se pudo registrar el primer contacto de los limbos.

Una vez comenzado el eclipse, conforme la Luna iba ocultando cada vez más al Sol fue posible anticipar el instante de las siguientes fases y la observación se hizo menos dificultosa, al disminuir la altura del Sol sobre el horizonte (unos 40° en la totalidad y 28 en el fin del eclipse). Las horas registradas de las demás fases fueron:

Oscuridad total del disco del Sol.....	3 ^h 44 ^m
Principio de la emersión.....	3 ^h 48 ^m
Fin del Eclipse.....	4 ^h 48 ^m

De estas horas Ulloa concluye que el medio del eclipse se produjo a las 3^h 46^m y que la duración de la fase total fue de 4^m. Se constata la falta de un reloj con segundero que hubiese permitido registrar las fases con una mayor precisión.

Tanto por no disponer de unas efemérides lo suficiente precisas como por la falta de precisión de la situación de *El España*, Ulloa no sabía que se encontraba dentro de la zona de totalidad del eclipse y que iba a poder observar el oscurecimiento total del Sol, y así se lo manifiesta al académico francés Le Monnier en una carta fechada en Cádiz el 6 de octubre de 1778: «... me sorprendió ver el eclipse total, no me lo esperaba».

Las horas registradas son de tiempo solar verdadero después del mediodía (19), ajustadas al meridiano donde se encontraba el buque, es decir, hora local. Tal y como se ha dicho, los relojes se habían sincronizado a la hora del mediodía y desde entonces el buque había navegado a rumbo este a unos tres nudos, aproximadamente. En rigor, al depender la hora local de la longitud del observador, el ajuste de los relojes debía haberse realizado para cada uno de los instantes observados; pero teniendo en cuenta la poca velocidad el buque, sólo se tuvo en cuenta la distancia navegada hacia el Este hasta las 3h 30m, que según Ulloa fueron 3,5 leguas marinas (10,5 millas náuticas); para la latitud que se encontraba *El España*, esta distancia suponía una diferencia de 53 segundos de tiempo.

En la Memoria de Ulloa llaman la atención ciertas inconsistencias en relación con las horas registradas de las fases del eclipse. Por un lado, reconoce la falta de precisión de los relojes, que impiden anotar los segundos de los tiempos en que se producen los contactos de los limbos:

«... no se notaron los segundos por no ser fácil distinguirlos en el minuterio, tomándose el minuto que señalaba, porque de haberse detenido à hacer juicio de ellos por estimación, se hubieran pasado los intervalos precisos del *Eclipse* sin observarlos» (20),

pero al mismo tiempo, como se verá en el apartado siguiente, supone como precisos los 4 minutos de duración de la totalidad, obtenidos por la diferencia de horas del principio y fin de la fase total, horas que se habían redondeado al minuto.

También sorprende el siguiente comentario:

«... también debe tenerse presente que en la 1 hora y 2 minut.^s que medió entre el *medio del Eclipse y su fin*, el Navío mudó de lugar, pasando al *Este* algo más de una legua, por lo que el fin del *Eclipse* sucedió algunos instantes antes que si hubiese permanecido en el mismo lugar en donde se empezó la Observación» (21).

Aunque la afirmación de Ulloa puede llegar a ser cierta cuando nos encontramos en latitudes próximas a los polos y muy alejadas de la línea de la

(19) En esta época, los astrónomos consideraban el mediodía como el comienzo del día y así lo reflejaban en las efemérides astronómicas. No fue hasta el siglo siguiente cuando empezó a considerarse el comienzo del día desde la medianoche.

(20) ULLOA, p. 24.

(21) *Ibidem*, 25.

centralidad, no es así en la situación desde la que se observó. Al contrario que pasa con fenómenos como las salidas y puestas del Sol o los pasos por el meridiano del lugar, que suceden antes cuanto más al este nos encontramos, un eclipse de Sol se observa primero hacia el oeste, por lo que, al navegar *El España* a rumbo este, el fin del eclipse se retrasó en lugar de adelantarse. No obstante, la velocidad del buque era tal que el error podía despreciarse con los medios de observación disponibles.

Durante la observación del eclipse, Ulloa tuvo la sensación de que las horas de ocurrencia de las distintas fases diferían de las deducidas a partir de los datos de *La Connaissance des Temps*, con independencia del error que suponía el desconocimiento de la longitud del lugar de observación. Ulloa comunicó esta discrepancia a Le Monnier quien, utilizando los datos de las observaciones realizadas en distintos lugares, determinó que las tablas empleadas en la elaboración de dichas efemérides contenían un error en la longitud eclíptica de la Luna de 3.5 minutos (22). En estos cálculos no se tuvo en cuenta la observación de Ulloa, por la falta de precisión de las horas y la gran incertidumbre en la posición geográfica.

Longitud del cabo de San Vicente

La observación del eclipse desde la ciudad de México, de cuya preparación tuvo conocimiento Ulloa antes de iniciar el tornaviaje, buscaba mejorar la longitud conocida de dicha ciudad. Este mismo objetivo se planteó Ulloa al organizar la observación desde la mar, pero aplicado al cabo de San Vicente. Tal y como escribe al principio de su Memoria, la observación del eclipse representaba una oportunidad para obtener:

«... no solo los conocimientos que proporciona para la perfección de la *Physica Celeste*, sino también la determinación de la *longitud del Cabo de San Vicente*, que no estaba bastante asegurada, sin embargo de ser un punto de los más notables de la tierra, y de los más frecuentados en las navegaciones» (23).

El planteamiento de Ulloa era determinar la longitud de *El España* a partir de las medidas realizadas durante la observación y, calculando la distancia navegada hasta llegar al cabo de San Vicente, establecer su longitud. Ulloa comunica su intención a Le Monnier, pero este no la toma en consideración,

(22) La Teoría de la Luna era una de las asignaturas pendientes de la astronomía de la época. Las primeras tablas de Mayer, impresas en 1753, permitieron la aplicación del método de las distancias lunares para calcular la situación en la mar, pero no tenían la precisión requerida por los astrónomos. La observación precisa de eclipses de Sol fue uno de los métodos utilizados para mejorar las teorías del movimiento lunar.

(23) ULLOA, p. 2. La longitud del cabo de San Vicente la había calculado con precisión una expedición francesa unos años antes, aunque los resultados se publicaron en 1778, por lo que Ulloa no los conocía.

debido a la poca precisión de las horas facilitadas. Convencido de que podía mejorar la longitud geográfica del cabo de San Vicente, Ulloa realiza él mismo los cálculos, que incluye en las páginas 28 a 31 de su Memoria con el título de «Comparación de las horas à que se observó este *Eclipse* en el mar, con las en que se observó en Salé».

La Marina francesa había desplazado al puerto de Salé, en las proximidades del actual Rabat (Marruecos), al oficial de caballería monsieur Dezoteur para que realizase la observación del eclipse con unos medios adecuados (telescopio, micrómetro, péndulo, etc.) Ulloa consiguió los resultados del propio Dezoteur cuando este pasó por Cádiz de regreso a París, y con ellos pretendió calcular la longitud de *El España* en el momento del máximo del eclipse. Al trabajar los datos de Dezoteur, Ulloa descubrió una incompatibilidad entre la duración de la totalidad en Salé y las horas registradas de las fases del eclipse, por lo que corrigió la hora de comienzo de la totalidad, más por intuición que basándose en datos fehacientes. Además de que se equivocó en esta conjetura, Ulloa cometió el error de considerar que la diferencia de longitud entre *El España* y la estación de Salé se correspondía directamente con la diferencia entre las horas de observación de las mismas fases del eclipse, lo que es conceptualmente incorrecto, puesto que en lugares distintos las fases del eclipse se producen a horas diferentes. La longitud del buque que calcula Ulloa es $16^{\circ} 36' 40''$ O, prácticamente al norte del Teide. Evidentemente, este dato no puede considerarse válido.

La extrapolación de la longitud calculada del lugar de observación, para obtener la longitud del cabo de San Vicente, la realiza Ulloa tras haber medido con la corredera que había navegado 301 millas náuticas hasta estar norte-sur con el cabo. Para la latitud por la que se navegaba ($37^{\circ} 14' N$), esta distancia supone una diferencia en longitud de aproximadamente $6^{\circ} 16'$, con lo que *El España* se encontraría alrededor de los $15^{\circ} 16' O$ en el momento del máximo del eclipse (24). Sin embargo, al realizar los cálculos del eclipse para dichas coordenadas utilizando efemérides y métodos precisos, se obtiene que las fases del eclipse se produjeron en dichas coordenadas ($37^{\circ} 14' N$, $15^{\circ} 16' O$) unos minutos antes de las horas registradas por Ulloa, por lo que el navío debía de encontrarse al este de esta longitud. Este error puede achacarse a poca precisión de la corredera o a haber navegado con corriente en contra.

El «ánulo luminoso» o «corona resplandeciente»

Uno de los aspectos más relevantes de la observación realizada por Ulloa fue la aparición del «anillo refractario», «ánulo luminoso» o «corona resplandeciente», espectáculo ante el que quedó maravillado, como él mismo manifiesta: «... fenómeno muy particular que pocos astrónomos han observado hasta hoy, como es el anillo luminoso que rodea el disco lunar, fenómeno de

(24) Esta es la longitud que considera ORTE LLEDÓ (2006), gráfico VI, p. 168.

lo más asombroso y bello a contemplar» (25). Con todo detalle y meticulosidad, Ulloa describe el fenómeno observado:

«Cosa de 5. ù 6. segundos despues que la *Inmersión* sucedió, empezó à descubrirse alrededor de la *Luna un círculo de luz mui (sic) brillante*, que sin ofender la vista, se dexaba ver (...) Esta luz aumentó a proporción, que el *centro de la Luna* se fue acercando à el [al] del *Sol*, y en la misma proporción creció su resplandor y brillantez, hasta que los dos centros coincidieron, ò estubieron (*sic*) en la mayor inmediación, que se percibió en toda su fuerza y hermosura (...) Este *ánulo luminoso* despedía *rayos de luz* por toda su circunferencia, perceptibles hasta la distancia de un diámetro de la *Luna*, los unos algo más largos que los otros» (26).

La anterior es una fiel descripción de lo que hoy conocemos como *corona solar*, parte externa de la atmósfera del Sol compuesta de plasma (partículas altamente ionizadas), que se extiende millones de kilómetros sin límite preciso y es extremadamente tenue y extremadamente caliente (27). La expansión de la corona solar constituye el *viento solar*, flujo continuo de plasma que llega a la Tierra a unos 400 km/s; sus efectos nocivos impedirían la vida en nuestro planeta, de no contar con la protección del campo magnético terrestre, que actúa como escudo frente a las partículas energéticas del viento solar.

El aspecto de la corona solar durante la fase total del eclipse era muy parecido al de otros fenómenos atmosféricos que Ulloa había tenido oportunidad de observar en numerosas ocasiones desde la mar, como las salidas y puestas del Sol, los crepúsculos, las distintas coloraciones del cielo, etc. De esta experiencia Ulloa concluyó que la Luna tenía atmósfera, al igual que la Tierra: «Las particularidades observadas en el *ánulo de la Luna* parece que no dexan duda de la existencia de una *Atmosfera* al rededor (*sic*) de ella» (28).

A una conclusión similar habían llegado otros astrónomos en el siglo XVIII, en las pocas ocasiones en las que se había observado un eclipse solar total; como le ocurrió a Halley al observar desde Londres el eclipse total de Sol el 3 de mayo de 1715. Con los conocimientos de la época, la existencia de una atmósfera lunar era la única hipótesis factible. Hubo que esperar un siglo para obtener una prueba científica en contra, prueba que vino de la mano de una joven disciplina: la espectroscopia. En el eclipse total de 1870 se detectó una raya verde en el espectro de la luz de la corona solar, descubrimiento al que siguieron otros similares en años posteriores que desconcertaron a los astrónomos de la época (29). No fue hasta mediado el siglo XX cuando se consiguió llegar a la interpretación correcta sobre la composición de la corona solar.

(25) ORTE LLEDÓ (2006), p. 95.

(26) ULLOA, p. 4.

(27) La densidad de la corona solar es un billón de veces inferior a la densidad de la atmósfera terrestre a una altura de 90 km, y su temperatura es de entre uno y dos millones de grados.

(28) ULLOA, p. 20.

(29) A comienzos del siglo XX, las observaciones espectroscópicas realizadas llevaron a los astrónomos a proponer la existencia de un nuevo elemento químico presente en el Sol, el «coronio».

Tal y como recoge VAQUERO en su estudio sobre la observación de la corona solar realizada por Ulloa, el aspecto de la corona depende del período de actividad del Sol dentro del ciclo de manchas solares, de aproximadamente once años. Así, en los máximos de actividad aumenta el número de manchas solares y la corona muestra rayos distribuidos de forma uniforme por todo el disco solar. Por el contrario, en períodos de baja actividad el número de manchas solares disminuye y la corona adopta la forma de un halo alargado, con los rayos concentrados en las proximidades del ecuador solar.

La descripción de Ulloa de la forma del ánulo, con los rayos de luz por toda la circunferencia, y el minucioso dibujo que incluye en la Memoria, presentado en la figura de la página 114, sugieren que el Sol se encontraba en un período de actividad. A ello también contribuye la información que da de las manchas solares detectadas:

«En el *Sol* se reconocieron seis manchas en tres distintos parages (*sic*), apareadas de dos en dos, bastante grandes: dos en la parte del *Este* de su disco, poco distantes entre sí; dos hacia el *Centro*; y las otras dos hacia el *Norte*, alguna cosa más para el *Noroeste*» (30).

Y en efecto, tal y como justifica VAQUERO, en 1778 se produjo el máximo del ciclo número 3, iniciado en 1775 y finalizado en 1784 (31).

En el minucioso relato que realiza Ulloa de la observación del ánulo luminoso, también se explican las distintas tonalidades observadas, ofreciendo una clara descripción de lo que hoy conocemos por «cromosfera», capa de la atmósfera solar de unos 15.000 kilómetros de espesor, situada entre la fotosfera y la corona. La descripción se ajusta perfectamente al meticuloso dibujo realizado por Ulloa, presentado en la figura de la página siguiente.

«El color de la luz del anulo no era uno mismo en todo su grosor; pues en la parte inmediata al disco de la *Luna* era *rosado hermoso*, después iba cambiando en *color de caña*, el qual desvaneciéndose parecía desde la mitad del grosor hasta la extremidad exterior del ánulo de un *color blanco*, pero igualmente brillante en todo su grosor» (32).

Finalmente, al describir la corona Ulloa también comenta:

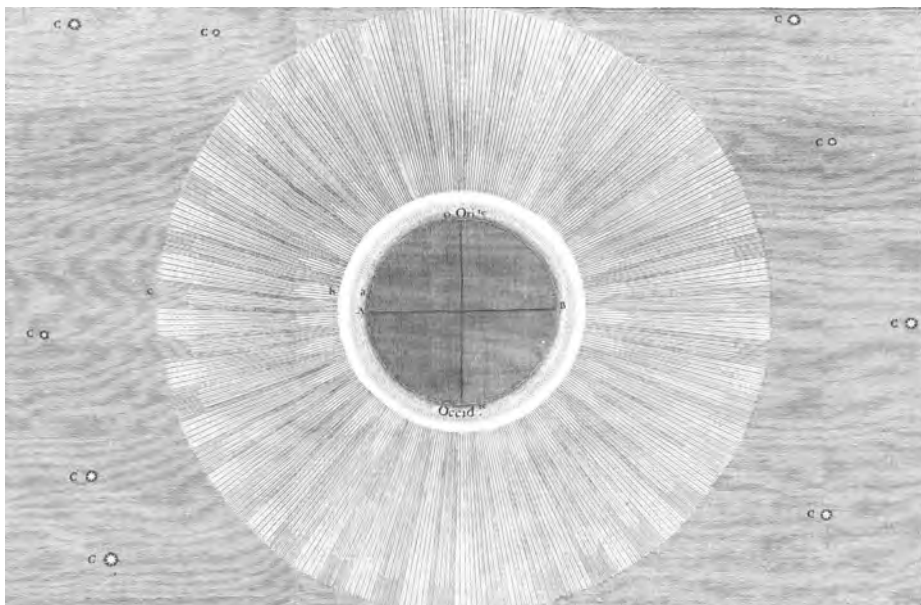
«Una de las Observaciones que hubiera sido importante es la de haber medido lo grueso del anillo por varias partes, y en tiempos distintos, para conocer si era igual en toda la circunferencia de la *Luna*» (33).

(30) ULLOA, p. 22.

(31) Los ciclos de manchas solares empezaron a numerarse en 1755, año en el que comenzaron a registrarse de forma sistemática las manchas de actividad solar.

(32) ULLOA, p. 5.

(33) *Ibidem*, p. 23.



Explicación de la figura que se encuentra en la página 27 de la Memoria escrita por Ulloa: «La lámina que en una sola figura dice 1.^a y 2.^a demuestra el *Eclipse de Sol*, despues de su *Immer-sion*, con el ánu-lo resplandeciente de *refracción*, los rayos de luz blancos, y algunas *Estrellas*. *AB*. es el disco de la *Luna*, obscuro todo él: (ab) es el ánu-lo resplandeciente: (bc) los rayos de luz que salían de aquel: (c) las *Estrellas* que se veían: B. parte Boreal del disco de la *Luna*: A. parte Austral o:O. parte Oriental: O. parte Occidental. En esta primera representación se debe suponer no haber en el disco de la *Luna* el *punto luminoso*»

Si Ulloa hubiese retrasado intencionadamente la salida de Tenerife para observar el eclipse, sin duda que se habría provisto de instrumentos más adecuados para la observación.

El punto luminoso

Uno de los aspectos más singulares de la observación del eclipse realizada por Ulloa es, sin duda, la aparición de lo que él denominó «punto luminoso»:

«Antes de que el bordo del disco del *Sol* empezase à percibirse por el de la *Luna*, cerca del Limbo de esta se vio un *punto luminoso del cuerpo del Sol*, tan pequeño que la vista no lo percibía, ni aun con el auxilio de un anteogillo (*sic*) de teatro (...) no quedó duda en que era el cuerpo del *Sol* el que se dexaba ver» (34).

(34) *Ibidem*, p. 7

Ulloa califica el fenómeno como «el más raro y particular que se haya hasta el presente observado», y no le faltaba razón, pues aún hoy en día se desconoce con exactitud la causa o causas que producen los conocidos como *Fenómenos Lunares Transitorios*.

La observación del punto luminoso sorprendió a Ulloa, que no tenía conocimiento de observaciones similares. Convencido de la importancia del descubrimiento, con relativa urgencia comunica a las academias científicas de las que era miembro las circunstancias de la observación del eclipse, aventurando una explicación sobre la causa del fenómeno observado. Ulloa se muestra tajante en su informe, en el que asegura que el punto luminoso era sin duda parte del disco solar y su observación «no pudo tener lugar sino a través de alguna rendija o desigualdad que se encontrase sobre el limbo de la Luna».

Tras redactar el informe científico para las academias, Ulloa mantiene correspondencia con sus colegas extranjeros, en especial con el académico francés Le Monnier. A través de esta correspondencia, Ulloa obtiene información de observaciones que en principio son similares a su punto luminoso, como las apariencias estelares observadas en el eclipse del 3 de mayo de 1715, que Halley atribuye a las desigualdades de la superficie lunar (35), o la observación por Bianchini en 1725 de un rayo rojizo en la parte oscurada del cráter Platón, cerca del terminador del cuarto creciente de la Luna.

Con el conocimiento de estos precedentes, Ulloa continúa analizando el fenómeno observado, cayendo en la cuenta de que había obviado que el punto luminoso estaba situado en el interior del disco de la Luna, separado por una zona oscura del borde lunar (ver fig. pág. 117). Este hecho era incompatible con la teoría de la rendija o cortadura en la superficie lunar, pero no fue inicialmente tenido en cuenta por Ulloa, debido quizá a la premura con la que redactó su informe inicial. Tras percatarse de su error, Ulloa sigue intentando buscar una explicación a lo observado, y en él se afianza otra teoría bastante singular, que se ajustaba a las circunstancias de la observación y que es la que expone en su Memoria:

«No es imposible que en la *Luna* haya un agujero (*sic*) que la penetre de una parte à otra en aquel parage (*sic*), y que por él se comunique la luz desde el *Sol* à la tierra: mayormente quando tiene esto alguna semejanza con lo que vio *Bianchini*» (36).

Posiblemente hoy nos parezca descabellada o ridícula la hipótesis de Ulloa, pero no debemos olvidar los muy escasos conocimientos de astronomía

(35) En realidad, Halley observó las conocidas como «perlas de Baily», que consisten en una cadena de puntos luminosos debida a la orografía lunar, que aparecen alrededor del borde la Luna en las proximidades del principio y fin de la fase total.

(36) ULLOA, p. 12.

de aquella época, en la que los científicos estaban poniendo los sillares de la ciencia actual.

La justificación que realiza Ulloa de esta teoría en su Memoria es exhaustiva (37). Incide en que parte de la rareza del fenómeno se debe a la alineación que debe producirse entre la visual del observador y el eje del agujero, lo que justificaría la escasez de observaciones:

«No será tampoco notable que así como (...) no se había descubierto con la formalidad que ahora este fenómeno de que se trata, se pasen otros muchos [siglos] antes de que los dos Astros, y el Observador se hallen en la misma positura (*sic*) que estuvieron (*sic*) esta vez» (38).

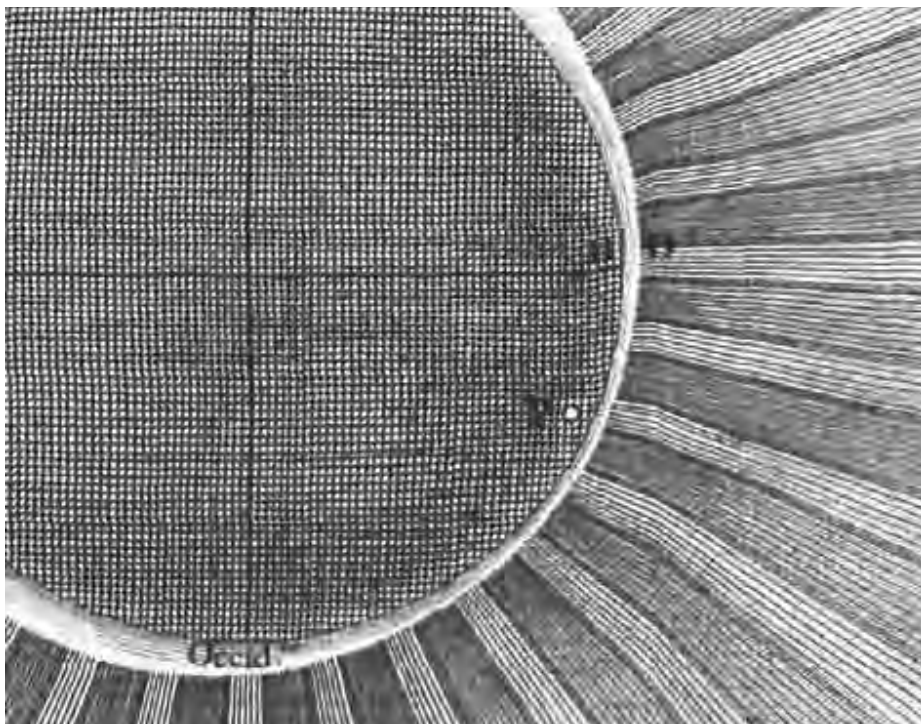
En línea con este razonamiento, Ulloa también expone el hecho de que el punto luminoso no fue observado por Dezoteur durante la observación de la totalidad de este eclipse realizada desde Salé, al no encontrarse correctamente alineado. Tan convencido está Ulloa de la existencia de la «caverna o tronera» que, al haber sido observada por primera vez desde el buque insignia de la flota, propone bautizarla con su nombre: «... le llamaremos la *caverna luminosa lunar del navío El España*».

Como ya se ha indicado, el punto luminoso observado por Ulloa entra en la categoría de lo que hoy conocemos como Fenómenos Lunares Transitorios (TLP, por sus siglas en inglés). Se trata de cambios repentinos de brillo o luminosidad en la superficie lunar de duración limitada, que puede ir desde unos pocos segundos a más de una hora. Algunos son especialmente brillantes y pueden observarse a simple vista, ya que existen informes de estos fenómenos en la Edad Media. Con el inicio de las misiones Apolo, la NASA realizó una observación exhaustiva de nuestro satélite; uno de los productos resultantes fue la elaboración del *NASA Technical Report R-277* (ver MIDDLEHURST y otros) primer catálogo de TLP con 579 fenómenos registrados, entre los que se encuentra el observado por Ulloa. Observaciones posteriores realizadas por astrónomos profesionales y aficionados han llevado a que actualmente haya más de dos mil fenómenos catalogados.

La causa de estos fenómenos sigue sin estar clara. Se han propuesto diversas teorías que achacan el origen de los TLP a motivos diversos: efectos ópticos debidos a turbulencias atmosféricas terrestres, impactos de meteoritos, actividad volcánica en la Luna, bombardeo de partículas solares, o erupciones de gases residuales debidos a la antigua actividad geológica lunar. Hoy en día, los científicos se inclinan por esta última causa (ver, por ejemplo, CROTTS o CRUZ), pero el tema sigue abierto.

(37) Ulloa dedica trece de las 26 páginas del cuerpo principal de su Memoria a describir, explicar y justificar la observación del punto luminoso.

(38) ULLOA, p. 15.



Detalle del segundo gráfico que Ulloa incluye en su Memoria, en donde se aprecia el punto luminoso, etiquetado con la letra P, que está separado del borde del disco lunar por una zona de oscuridad

Los resultados

Tras la feliz llegada a Cádiz el 29 de junio, Ulloa envió al ministro de Marina, González de Castejón, un informe detallado del viaje desde La Habana, en el que exponía todas las vicisitudes de la travesía, las dificultades que supuso la derrota impuesta y la necesidad de apartarse de ella para conseguir arribar a Tenerife. En este informe no se relata la observación del eclipse, por considerarlo fuera del contexto estrictamente naval en que estaba redactado. A primeros de agosto es recibido por el rey Carlos III en el Real Sitio de San Ildefonso, recibiendo del monarca el reconocimiento de su mando como jefe de escuadra de la última Flota de Nueva España. Poco después, Ulloa es ascendido a teniente general y nombrado comandante de la segunda división de la escuadra de Luis de Córdova, mando que ejerció en la campaña de las Azores de 1779 y que tantos sinsabores le supuso (39).

(39) Por el fracaso de esta campaña, Ulloa fue sometido a varios procesos de los que salió finalmente absuelto. Algún autor incluye entre los cargos que se le imputaron que se había

Con respecto al eclipse de Sol, Ulloa había preparado una comunicación científica que envió desde Cádiz a las cuatro academias europeas a las que pertenecía: Academia Real de Ciencias de París, Real Sociedad de Londres, Academia de Ciencias y Letras de Berlín y Academia de Ciencias y Letras de Estocolmo (40). En este informe Ulloa no hace referencia a la naturaleza del viaje que estaba realizando al observar el eclipse, sino que se limita a indicar que navegaba entre las islas Terceras y el cabo de San Vicente. Como se comentó anteriormente, en este comunicado Ulloa expone la teoría de la cortadura de la Luna como explicación inicial al punto luminoso, teoría que abandonaría para defender la existencia de la *caverna luminosa lunar del navío El España*.

Las academias se hicieron eco de la comunicación enviada por Ulloa, acogéndola con gran interés. Los resultados son publicados en 1781 en *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. En Francia, el informe es traducido por el astrónomo Auguste Darquier de Pellepoiz, que lo publica en 1780 con el título *Observation de l'eclipse de soleil du 24 de juin 1778 faite en mer sur l'Espagne, vaisseau amiral de la Flotte des Indes, par don Antonio de Ulloa*. Lo mismo sucede en Berlín, donde el informe de Ulloa se publica en *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles Lettres*. Pero con quien Ulloa mantuvo un mayor intercambio de información fue con el académico francés Le Monnier, que recopiló y comentó las observaciones junto con su propio análisis en 1781 en *Memoires concernant diverses questions d'Astronomie et de Physique. Lûs a l'Académie Royale des Sciences*.

En 1779 Ulloa paga de su propio bolsillo la impresión de la Memoria a la que nos hemos referido a lo largo de los párrafos anteriores, que eleva a Carlos III. En ella incluye, además del cálculo de la longitud del cabo de San Vicente, un anexo con las «Observaciones de la variación de la aguja», que meticulosamente había anotado a lo largo de toda la campaña.

Es indudable el mérito de la observación del eclipse desde la mar en unas condiciones y con unos medios nada apropiados. Dicho mérito le corresponde por completo a Ulloa y a su interés y formación científica, sin los cuales el fenómeno probablemente hubiese sorprendido a las dotaciones de los buques. Aunque el fruto astrométrico fue escaso y no se consiguió el objetivo de mejorar la longitud del Cabo de San Vicente, debido a la precariedad de los instrumentos con que se realizó la observación, la observación del eclipse

entretenido con la observación de un eclipse de Sol. En la bibliografía consultada, no hemos encontrado mención a dicho cargo; pero, en el caso de que así hubiese sido, era completamente infundado, ya que en 1779 se produjeron tres eclipses de Sol (el 16 de mayo, el 14 de junio y el 7 de diciembre) y dos eclipses de Luna (el 30 de mayo y el 23 de noviembre), pero ninguno de ellos durante el tiempo que Ulloa estuvo en la mar.

(40) SOLANO (1992) también recoge que el informe fue remitido por Ulloa a las corporaciones españolas de las que era miembro activo: Real Academia de Bellas Artes, Real Sociedad Bascongada de Amigos del País, Real Sociedad Económica de Madrid y Real Academia de Amigos del País de Sevilla.

desde la mar supuso un hito en la astronomía de la época, sirviendo además como impulso para la mejora de la Teoría de la Luna.

La gran capacidad de observación de Ulloa, su sólida preparación y sus notables dotes descriptivas aportaron una de las primeras referencias astronómicamente fiables de la atmósfera solar, tema por el que empezaban a interesarse los astrónomos. Además, su descubrimiento del punto luminoso fue una de las primeras observaciones adecuadamente documentadas de lo que hoy conocemos como Fenómenos Lunares Transitorios. Su Memoria del eclipse constituye un excelente punto de referencia para la historia de la astronomía.

Con la observación de este eclipse, Ulloa puso un brillante broche a su trayectoria como astrónomo, constituyéndose, junto con Jorge Juan, en el paradigma del marino científico ilustrado.

Bibliografía

- CROTTS, Arlin P.S.: «Transient Lunar Phenomena: Regularity and Reality», en *The Astrophysical Journal*, vol. DCXCVII, núm. 1, 2009, pp. 1-15.
- CRUZ ROA, A.F., 2012 : «Actividad en la superficie lunar: fenómenos lunares transitorios», en *Revista Tumbaga*, vol. 1, núm. 7. Universidad del Tolima (Colombia), 2007, pp. 7-26.
- DE LALANDE, J.: *Éphémérides des Mouvements Célestes pour le Méridien de Paris, tome septième, contenant les dix années de 1775 à 1784*. Paris, 1774.
- GARCÍA REBOLLO, L.M.: «Antonio de Ulloa y la Ilustración española», en *Revista General de Marina*, t. CCLXX. Ministerio de Defensa, Madrid, abril 2016, pp. 401-416.
- GONZÁLEZ, F.J.: «Péndulos astronómicos y cronómetros marinos de la Armada», en *Asclepio. Revista de Historia de la Medicina y de la Ciencia*, vol. L-1. Instituto de Historia (CSIC), Madrid, 1998, pp. 175-198.
- LEÓN Y GAMA, A.: *Descripción orthographica universal del eclipse de Sol del día 24 de junio de 1778*. Ciudad de México, 1778.
- LÓPEZ MORATALLA, T.: «El Almanaque Náutico, una herramienta indispensable para la cartografía de los siglos XIX y XX», cap. XXIII de *Cartografía hispánica: 1800-1975. Una cartografía inestable en un mundo convulso*. Ministerio de Defensa, Madrid, 2014.
- , y GALINDO MENDOZA, F.J.: «El segundo intercalar: una consecuencia de la complejidad del tiempo», en *Revista General de Marina*, tomo CCLXVIII. Ministerio de Defensa, Madrid, mayo 2015, pp. 683-692.
- MIDDLEHURST, B.M.; BURLEY, J.M.; MOORE, P., y WELTHER, B.L.: «Chronological Catalog of Reported Lunar Events», *NASA Technical Report R-277*, 1967.
- ORTE LLEDÓ, A.: «Antonio de Ulloa, astrónomo», en *Actas del II Centenario de don Antonio de Ulloa*. Escuela de Estudios Hispano-Americanos (CSIC), Sevilla, 1995, pp. 185-196.
- : *El jefe de escuadra Antonio de Ulloa y la Flota de la Nueva España, 1776-1778*. Fundación Alvargonzález, Gijón, 2006.
- SELLÉS, M.: «Antonio de Ulloa y la ciencia de su época», en *Actas del II Centenario de don Antonio de Ulloa*, pp. 59-77.
- SOLANO, F. de: «Don Antonio de Ulloa, paradigma del marino científico», en *Revista da Universidade de Coimbra*, vol. XXXV, 1989, pp. 333-345.
- : (est. prel. y ed.): *El eclipse de Sol con el anillo refractario de sus rayos, la luz de este astro vista a través del cuerpo de la Luna, o antorcha sola en su disco, observado en el océano en el navío "El España", Capitana de la Flota de Nueva España, mandada por el Geefe de Escuadra D. Antonio de Ulloa y practicada la Observación por el mismo General...* Universidad Nacional Autónoma de México, 1992².
- : «Antonio de Ulloa, marino», en *Actas del II Centenario de don Antonio de Ulloa*, pp. 219-239.

- TORROJA, J.M.: «La observación de un eclipse de Sol por don Antonio de Ulloa», en *Revista de Historia Naval*, núm. 34. Instituto de Historia y Cultura Naval, Madrid, 1991, pp. 49-65.
- ULLOA, A. de: *El Eclipse de Sol con el anillo refractorio de sus rayos, la luz de este astro, vista del traves del cuerpo de la Luna, o antorcha solar en su disco, observado en el Océano en el Navío El España, Capitana de la Fota de Nueva España, mandada por el Gefe de Escuadra D. Antonio de Ulloa, y practicada la observación por el mismo General, con asistencia de otros Oficiales del Navio, el veinte y quatro de Junio de mil setecientos setenta y ocho.* Madrid, 1779.
- VAQUERO, J.M.: «The Solar Corona in the Eclipse of 24 June 1778», en *Solar Physics*, vol. CCXVI, 2003, pp. 41-45.

